

**ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO SECO DE
4000 PSI (280kg/cm²) REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO Y PET,
EXPUESTO A TEMPERATURAS DE 300 °C A 500 °C.**

**DAVID EDUARDO RUEDA GONZALEZ
CÓDIGO. 506724
SAMANTA VALENTINA FLÓREZ RODRÍGUEZ
CÓDIGO. 506956**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C
JUNIO, 2021**

ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO SECO DE
4000 PSI (280kg/cm²) REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO Y PET,
EXPUESTO A TEMPERATURAS DE 300 °C A 500 °C.

DAVID EDUARDO RUEDA GONZALEZ
CÓDIGO. 506724
SAMANTA VALENTINA FLÓREZ RODRÍGUEZ
CÓDIGO. 506956

PROYECTO DE GRADO

ASESOR: CARLOS JULIO CARTAGENA LINARES

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C
JUNIO, 2021



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0)

This is a human-readable summary of (and not a substitute for) the [license](#). [Advertencia](#).

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciente no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciente.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



SinDerivadas — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia](#).

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, julio del 2021.

DEDICATORIA.

Este trabajo de grado lo dedico a mis padres, quienes me han apoyado incondicionalmente a lo largo de mi vida y de mi carrera profesional, para cumplir mis metas, formándome como una persona íntegra llena de principios, valores y sueños.

A Dios quien es parte fundamental de mi vida, es mi soporte, mi guía y mi fortaleza.

– David Eduardo Rueda.

Este proyecto está dedicado principalmente a mis padres, que a lo largo de la vida me han apoyado en todo, me han cuidado y han amado, a mis hermanos que también me apoyan en cada meta que quiero cumplir y a Dios, quien me dio vida para poder estar aquí y hacer esto realidad.

– Samanta Valentina Flórez R.

AGRADECIMIENTOS.

Agradecemos al docente Carlos Julio Cartagena, por su dedicación, tiempo, apoyo, paciencia y guía para el desarrollo de este trabajo de grado, ya que gracias a su conocimiento y experiencia brindó la mejor asesoría con total profesionalismo.

También a la universidad y a las personas que la conforman por brindarnos el apoyo de los laboratorios para realizar nuestro trabajo debido a la situación que estamos pasando en el mundo, especialmente al laboratorista Hugo Rondón, por guiarnos en este proceso de elaboración de las muestras.

A nuestros padres y hermanos por guiarnos, apoyarnos y estar presentes en toda la carrera y por último a nuestros amigos por la colaboración que nos brindaron en el proceso del desarrollo de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO.

1. INTRODUCCIÓN.	15
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	17
3. ANTECEDENTES.	18
4. JUSTIFICACIÓN.	22
5. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.	23
6. OBJETIVOS.	24
6.1. OBJETIVO GENERAL.	24
6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	24
7. ESTADO DEL ARTE	25
8. MARCO DE REFERENCIA.	39
<u>8.1. MARCO TEÓRICO.</u>	39
8.2. MARCO LEGAL.	43
<u>8.3 MARCO CONCEPTUAL</u>	45
9. METODOLOGÍA.	48
9.1. FASES DEL PROCESO DE INVESTIGACIÓN.	49
10. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.	53
10.1. PROCESO DE REALIZACIÓN DE LAS MUESTRAS.	53
10.2. PROCESO DE DETERMINACION DE RESISTENCIA.	66
11. RESULTADOS.	91
12. ANÁLISIS DE RESULTADOS.	96
13. CONCLUSIONES.	105
14. RECOMENDACIONES.	106
15. BIBLIOGRAFÍA.	107
16. ANEXOS.	110

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Clasificación de las fibras según el material.	17
Tabla 2. Valores de fisuración a las 24 horas para un mismo concreto sin reforzar y con diferentes alternativas de reforzamiento. (Fisuración plástica). Entendiendo área de fisuración el producto entre la longitud de la fisura y su ancho.	25
Tabla 3. Caracterización mecánica de las muestras.	27
Tabla 4. Tipos de ensayos realizados con dosificación de fibra sintética agregada al concreto.	34
Tabla 5. Información de las normas que rigen la investigación.	42
Tabla 6. Especificaciones de tiempos y temperaturas de exposición.	49
Tabla 7. Diseño de mezcla de concreto seco de 4000 PSI.	53
Tabla 8. Cantidades de fibras para un bulto de concreto seco de 40 kg.	53
Tabla 9. Información técnica del concreto seco.	53
Tabla 10. Número de muestras realizadas para ensayos.	54
Tabla 11. Datos de las dimensiones de los cilindros.	65
Tabla 12. Datos de las dimensiones de los cilindros.	71
Tabla 13. Datos de las dimensiones de los cilindros.	77
Tabla 14. Datos de dimensiones de las losetas .	83
Tabla 15. Datos de dimensiones de las losetas .	86
Tabla 16. Resultados obtenidos falla 7 días de curado.	88
Tabla 17. Resultados obtenidos falla 41 días de curado.	89
Tabla 18. Resultados obtenidos falla 41 días de curado, expuesto a 210 °C.	89
Tabla 19. Resultados obtenidos falla losetas 28 días de curado.	90
Tabla 20. Resultados obtenidos falla losetas 28 días de curado, expuesto a 210 °C.	90

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.

Ilustración 1. Exposición de una estructura a base de concreto a una temperatura alta producida por un incendio.	18
Ilustración 2. Diferentes tipos de macro fibras de SIKA.	27
Ilustración 3. Línea de tiempo de las fibras.	30
Ilustración 4. Apariencia de las fibras empleadas (a) fibras metálicas, (b) fibras de polipropileno.	31
Ilustración 5. Fabricación y curado de probetas con y sin adición de fibras.	32
Ilustración 6. Ensayo de fuego con exposición directa a las llamas de la superficie del espécimen y medición con termómetro infrarrojo.	32

Ilustración 7. Revestimiento de la muestra (a) y ensayo de compresión (b).	33
Ilustración 8. Mecanismos de desconchado del concreto a) Teoría de la tensión térmica; (b) Teoría de la presión de poros.	33
Ilustración 9. La superficie del fondo de la viga después de la exposición al fuego de 4 días muestra una descamación severa pero poco profunda de la cubierta de concreto.	34
Ilustración 10. Ruptura de una viga de concreto reforzado con fibras metálicas.	39
Ilustración 11. Material reutilizado para la implementación de las fibras PET.	41
Ilustración 12. Diagrama de flujo implementación del concreto seco de 4000 PSI (280kg/cm ²).	48
Ilustración 13. Diagrama de flujo preparación de las muestras y curado del concreto.	50
Ilustración 14. Diagrama de ensayos de comportamientos mecánicos del concreto.	52
Ilustración 15. Diagrama de flujo de comparación de los resultados de los ensayos.	52

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.

Fotografía 1. Preparación de cilindros (engrasado).	57
Fotografía 2. Concreto seco para realizar cilindros.	58
Fotografía 3. Adición agua a la mezcla. Fotografía 4. Mezcla de agua con material.	58
Fotografía 5. Concreto seco de 4000 PSI mezclado con agua.	59
Fotografía 6. Preparación de cilindros de concreto sin ninguna adición.	59
Fotografía 7. Peso de las fibras PET para adicionar a cilindros.	60
Fotografía 8. Mezcla de concreto seco con fibras PET para cilindros.	60
Fotografía 9. Preparación de cilindros con adición fibras PET.	61
Fotografía 10. Peso de las fibras de acero para adicionar a cilindros.	61
Fotografía 11. Mezcla de concreto con adición de fibras de acero.	62
Fotografía 12. Preparación de cilindros con adición fibras de acero.	62
Fotografía 13. Cilindros de concreto seco de 4000 PSI en proceso de fraguado.	63
Fotografía 14. Cilindros endurecidos. Fotografía 15. Muestras en pileta.	63
Fotografía 16. Mezcla de concreto seco con agua.	64
Fotografía 17. Losetas de concreto seco de 4000 PSI sin adición.	64
Fotografía 18. Preparación de losetas con adición de fibras PET.	65
Fotografía 19. Preparación de losetas con adición de fibras de acero.	65

Fotografía 20. Muestras para desencofrar.	Fotografía 21. Muestras de losetas
66	
Fotografía 22. Muestras de losetas en pileta para curar.	66
Fotografía 23. Cilindros de cada especificación de 7 días, para fallar.	67
Fotografía 24. Cilindro en máquina universal.	Fotografía 25. Resultado de falla.
68	
Fotografía 26. Cilindro fallado en máquina.	Fotografía 27. Cilindro con falla.
69	
Fotografía 28. Cilindro fallado con fibras de acero para análisis interno.	69
Fotografía 29. Cilindro en máquina universal.	Fotografía 30. Resultados de la falla.
70	
Fotografía 31. Falla de cilindro con fibras PET.	Fotografía 32. Falla de cilindro.
71	
Fotografía 33. Cilindro fallado con fibras PET para análisis interno.	71
Fotografía 34. Cilindro en máquina universal.	Fotografía 35. Resultado de falla.
72	
Fotografía 36. Falla de cilindro sin adición.	Fotografía 37. Falla de cilindro.
72	
Fotografía 38. Cilindro fallado sin adición para análisis interno.	73
Fotografía 39. Cilindro en máquina universal.	Fotografía 40. Resultado de falla.
74	
Fotografía 41. Falla de cilindro de concreto con adición de fibras de acero.	75
Fotografía 42. Cilindro fallado con fibra de acero para análisis interno.	75
Fotografía 43. Cilindro en máquina universal.	Fotografía 44. Resultado de la falla.
76	
Fotografía 45. Falla de cilindro de concreto con adición de fibras de PET.	76
Fotografía 46. Cilindro fallado con fibra de PET para análisis interno.	77
Fotografía 47. Cilindro en máquina universal.	Fotografía 48. Resultado de la falla.
77	
Fotografía 49. Falla de cilindro de concreto sin adición.	78
Fotografía 50. Cilindro fallado con fibra de PET para análisis interno.	78
Fotografía 51. Cilindros en el horno para elevar a temperatura.	79
Fotografía 52. Cilindros en el horno después de elevar a temperatura.	80
Fotografía 53. Cilindro en máquina universal.	Fotografía 54. Resultado de la falla.
81	
Fotografía 55. Falla de cilindro de concreto con adición de fibras acero.	81
Fotografía 56. Cilindro fallado con fibra de acero para análisis interno.	82
Fotografía 57. Cilindro en máquina universal.	Fotografía 58. Resultados de la falla.
82	
Fotografía 59. Falla de cilindro de concreto con adición de fibras PET.	83
Fotografía 60. Cilindro fallado con fibra de PET para análisis interno.	83

Fotografía 61. Cilindro en máquina universal. Fotografía 62. Resultado de la falla.
84

Fotografía 63. Falla de cilindro de concreto sin adición.	84
Fotografía 64. Cilindro fallado sin adición para análisis interno.	85
Fotografía 65. Viga de apoyada en la maquina universal.	86
Fotografía 66. Viga de concreto con fibras PET con falla a flexión.	87
Fotografía 67. Falla de viga en concreto.	87
Fotografía 68. Viga de concreto con fibras PET, para análisis interno.	88
Fotografía 69. Viga de concreto con fibras de acero fallada.	88
Fotografía 70. Viga de concreto con fibras de acero con falla a flexión.	89
Fotografía 71. Viga de concreto con fibra de acero.	90

ÍNDICE DE GRÁFICOS.

Gráfica 1. Comportamiento a compresión del concreto sin adición.	93
Gráfica 2. Comportamiento a compresión del concreto con PET.	94
Gráfica 3. Comportamiento a compresión del concreto con adición fibras de acero.	95
Gráfica 4. Comportamiento a compresión de las muestras de concreto.	96
Gráfica 5. Comportamiento a flexión del concreto sin adición de fibras.	97
Gráfica 6. Comportamiento a flexión del concreto sin adición de fibras.	98
Gráfica 7. Comportamiento a flexión del concreto sin adición de fibras.	99
Gráfica 8. Comportamiento a flexión de las muestras de concreto.	99

GLOSARIO.

- **Concreto:** Se define como la mezcla de un material aglutinante (normalmente cemento portland), materiales de relleno (agregados o áridos), agua y frecuentemente aditivos que al endurecer forma un sólido compacto y al secarse es capaz de soportar grandes esfuerzos a compresión. Sea transformado a nivel mundial en el material más utilizado por su versatilidad en cuanto aplicaciones, sus propiedades mecánicas y físicas y su economía.¹
- **Acero de refuerzo:** Se utiliza para el reforzamiento de elementos de concreto que estén expuestos a altas cargas. El acero es incrustado en el concreto de manera que este pueda soportar los esfuerzos tanto de tensión, así como de compresión.
- **Concreto reforzado:** El concreto reforzado es el más popular y desarrollado de estos materiales, ya que aprovecha en forma muy eficiente las características de buena resistencia en compresión, durabilidad, resistencia al fuego y maleabilidad del concreto, junto con las de alta resistencia en tensión y ductilidad del acero, para formar un material compuesto que reúne muchas de las ventajas de ambos materiales componentes.²
- **Fibras:** Filamentos delgados y alargados en forma de haz, malla o trenza de cualquier material natural o fabricado que puede estar distribuido a través del concreto mezclado en estado fresco.³
- **Fibras metálicas:** Las fibras metálicas han sido usadas desde el siglo XX, los primeros años las microfibras eran redondas y lisas, en la actualidad tienen superficies ásperas y extremos en gancho, presentan diámetros de 0,15 a 2 mm y poseen longitudes de 60 a 75mm, adicionalmente generan alta resistencia a la tensión y alto módulo de elasticidad, la principal

¹ Asociación Colombiana de productores de concreto ASOCRETO. Tecnología del concreto. Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas. Tomo 1. Medellín, Colombia. Página 1.

² Arqhys decoración. Construcción. Concreto reforzado, Párrafo 1. Disponible en: <https://www.arqhys.com/construccion/reforzado-concreto.html>

³ Norma Técnica Colombiana 5541. Concretos reforzados con fibras. Términos y definiciones. Pág. 4

desventaja de las fibras de acero es que presentan oxidación, generalmente el contenido de la fibra de acero varia de 0,25% a 2% por volumen de concreto.⁴

- **Fibras Sintéticas:** Las fibras sintéticas se fabrican a partir de materiales como el polipropileno o PET. Generan un buen comportamiento del concreto ensayado a la tensión, igualmente que las fibras de vidrios son resistentes al álcali y son inoxidables, generando una mayor durabilidad al concreto, las fibras sintéticas generalmente se presentan con una longitud de 60 mm y en concreto lanzado las macro fibras sintéticas reducen el desgaste de mangueras, bombas, trompos y mezcladoras.⁵
- **Fibras PET:** Son monofilamentos de alta tenacidad que al ser mezclado con el concreto forman una matriz de refuerzo tridimensional distribuido, Se produce de la recolección de botellas plásticas y materiales similares provenientes del posconsumo (reciclado) el cual es molido y clasificado pasando por un proceso de extrusión y homogenización plástica la cual es convertida en monofilamentos debidamente pesados, cortados y empacados.⁶
- **Comportamiento del concreto en altas temperaturas:** El efecto del aumento de la temperatura sobre la resistencia del concreto es insignificante a menos de 300 °C, pero después de los 400 °C puede ocurrir una pérdida muy importante de resistencia, llegando a valores inferiores al 45% de f'_c .⁷
- **Ensayo a compresión:** El ensayo de compresión de probetas de concreto, se apoya en someter una muestra cilíndrica de magnitudes estandarizadas a cambios en el volumen debido a cargas que la someten a deformarse para encontrar todas las características mecánicas que éste logre tener, como; los tipos de resistencias, el módulo de elasticidad y el coeficiente de Poisson.

⁴ Amaya Santiago, Ramírez Miguel. Evaluación del comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras. Universidad Católica de Colombia. 2019. Pág. 33

⁵ Amaya Santiago, Ramírez Miguel. Evaluación del comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras. Universidad Católica de Colombia. 2019. Pág. 34.

⁶ METAINPLAST S.A.S. Macro fibras sintéticas para concreto. Disponible en: <https://www.metainplast.com/>

⁷ Claros Eduardo. 360 en concreto. Propiedades de resistencia del concreto frente al fuego.

Disponible en: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/calidad-y-aspectos-tecnicos/resistencia-del-concreto-frente-al-fuego>

Esta prueba se apoya en la regla técnica de Colombia NTC 4025 y la NSR-10, con el objetivo de estimar la capacidad del material que se va a llevar a cabo a futuro o que está implementado.⁸

- **Ensayo a flexión:** El ensayo a flexión está regido por la norma NTC 2871, la cual se enfoca en la ASTM C 78:2002 Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading), el método de ensayo consiste en aplicar cargas a los tercios medios de la luz, con el fin de calcular el módulo de rotura que define el esfuerzo máximo que soporta el espécimen.⁹
- **F'c:** La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm², MPa y con alguna frecuencia en libras por pulgada cuadrada (PSI).¹⁰
- **Módulo de elasticidad (E):** Relación entre el esfuerzo al que está sometido el material y su deformación unitaria. Representa la rigidez del material ante una carga impuesta sobre el mismo. Cuando la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria a que está sometido el material es lineal, constante y los esfuerzos aplicados no alcanzan el límite de proporcionalidad, el material tiene un comportamiento elástico.¹¹
- **Concreto seco:** Concreto especialmente diseñado para sus necesidades de construcción. Utilizado para la fundida de columnas, vigas, placas, pisos y cualquier elemento de concreto cuya resistencia de diseño es de 210 kg/cm² (3000 PSI) o 280 kg/cm² (4000 PSI) a 28 días.¹²

⁸Mendoza C, Torres D, Campo R, Jiménez J, Contreras A, Ballesteros C, Compresión de probetas de concreto. Universidad de Bolívar, Cartagena, Colombia. Marzo 2019. Pág. 2

⁹ Amaya Santiago, Ramírez Miguel. Evaluación del comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras. Universidad Católica de Colombia. 2019. Pág. 35.

¹⁰ Cemex Perú. Artículos de construcción. ¿Por qué se determina la resistencia a la compresión en el concreto? 05 Abril 2019. Disponible en: <https://www.cemex.com.pe/-/por-que-se-determina-la-resistencia-a-la-compresion-en-el-concreto->

¹¹ Osorio Jesús Davis. 360 grados en concreto. ¿Qué es el módulo de elasticidad en el concreto? Disponible en: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/elasticidad-del-concreto>

¹² Cemex Colombia. Concreto seco Cemex. Disponible en: <https://www.cemexcolombia.com/productos/concretos/concreto-de-valor-agregado/concreto-seco-cemex>

1. INTRODUCCIÓN.

La presente investigación lleva a cabo al tema de concreto seco de 4000 PSI (280 kg/cm²). Este tipo de concreto es una innovación implementada por varios proveedores de cemento el cual consiste en una mezcla de agregados listo para la adición de agua y la obtención de un concreto fluido, este material no está aún estipulado en la norma sismo resistente colombiana (NRS-10), pero se toma como un concreto de 4000 PSI simple. A este concreto se le adiciona fibras de acero y PET, se analizó el comportamiento mecánico del material en los diferentes diseños que se hicieron, a temperatura ambiente y elevada a temperaturas cercanas a los 210 ° C. Al momento de la ejecución del proyecto la universidad entro a suspensión de actividades, por lo cual se tuvo los siguientes inconvenientes:

1. Los tiempos de curado de los cilindros para la resistencia a compresión tienen un total de días de 41, no a 28 días.
2. La idea inicial era elevar las probetas a temperaturas entre 300 °C y 500 °C, sin embargo, el horno de los laboratorios de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Colombia no cuenta con la capacidad volumétrica para contener las probetas diseñadas. Razón por la cual, se hizo necesario emplear otro de los hornos que solamente puede alcanzar temperaturas cercanas a los 210°C, lo cual se identificó a finales de mayo y con los plazos establecidos, ningún laboratorio certificado externo se comprometió a realizar los ensayos por la disponibilidad, por lo tanto se trabajó con los equipos que cuenta la universidad.

El concreto es un material generado a partir de la mezcla homogénea de cemento, agregados inertes (finos y gruesos) y agua, también en diferentes casos se puede adicionar aditivos y otros elementos de ayuda, específicamente para las propiedades que se necesiten. En el concreto seco la característica principal del este es que es funcional para la construcción, se le realiza un proceso de curado donde se adquiere una resistencia a la compresión, puede ser diseñado y preparado en obra, de acuerdo con la necesidad que se le presente al constructor, este viene en sacos y/o bultos de 40 kg y sirve para transportar rápido y así generar la mezcla de manera efectiva en espacios reducidos, esta es una tecnología moderna, cuyo objetivo es sacar de apuros a los constructores.

La adición de barras de acero al concreto, forma el concreto reforzado que es parte principal de los elementos estructurales que se presentan en cualquier edificación ya que la unión de estos dos materiales generan en el elemento, la capacidad de

resistir cargas de compresión (concreto) y de tensión (acero), sin embargo, estas barras de acero en la actualidad están siendo reemplazadas en algunos casos por fibras de diferentes materiales como lo son de acero, vidrio y polipropileno. Varios estudios se han realizado con referencia a concretos reforzados con fibras siendo sometidos a altas temperaturas, encontrando que las fibras ayudan a resistir las cargas a tensión del elemento estructural, pero pueden ser afectadas por la exposición al calor.

Se trabajan por un lado fibras de PET, el material PET, por sus siglas en inglés polyethylene terephthalate, en español polietileno tereftalato, es un polímero plástico que se obtiene mediante un proceso de polimerización de ácido tereftálico y monoetilenglicol, en este caso reciclable. Por otro se tiene de material fibras de acero, el cual es una aleación de hierro con pequeñas cantidades de carbono.

Para analizar este concreto, se realizaron pruebas de laboratorio, donde se observaron las resistencias de compresión y flexión con los especímenes que indican las normas técnicas colombianas (NTC). Con esto se realizó un análisis del concreto seco de 4000 PSI (280 kg/cm²), para determinar cuál era más viable y de mejores características tanto cualitativas como cuantitativas.

Las resistencias obtenidas a la compresión como a la flexión del concreto con adición de fibras PET y de acero presentan un comportamiento similar al concreto sin ningún tipo de adición, de igual forma se comportan estas propiedades cuando se elevan a 210 °C.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El concreto es uno de los recursos que más se utilizan a nivel mundial, generalmente para la construcción de viviendas, ya que esta es una necesidad básica para el ser humano, también el concreto reforzado al pasar de los años igualmente se ha convertido en un material importante para la construcción ya que se utiliza para todo tipo de elementos estructurales, este refuerzo se ha implementado con la aplicación de barras o mallas de acero dependiendo el uso que se le da a cada tipo de elemento. En la actualidad la elaboración de este material estructural se puede llevar a cabo con varias alternativas de reforzamiento, reemplazando las opciones del acero sólido y grande por fibras de distintos materiales siendo unas de las más comunes y viables el metal y polímeros.

El uso de las fibras en una estructura de concreto reforzado puede alterar la resistencia de la misma al momento que sea expuesta a temperaturas de 210 °C a cómo puede suceder en un incendio, ya que por el cambio de estado de la materia hace que este tipo de refuerzo pierda sus propiedades mecánicas y puedan producir una falla en el elemento estructural, por tal razón el mayor enfoque es el estudio de las propiedades mecánicas de un concreto seco de 4000 PSI (280 kg/cm²) reforzado con fibras expuesto a elevadas temperaturas, para así determinar si este tipo de refuerzos son viables para una exposición extrema.

Se crea una hipótesis donde se tiene que las propiedades mecánicas del concreto (compresión y flexión) se verán afectadas por el incremento de temperaturas, menores o iguales a 150 °C, el fin de esto principalmente es verificar si esto tiene alguna efectividad o si no se afectan estas propiedades cuando se exponen a temperaturas bajas.

3. ANTECEDENTES.

Según el artículo de investigación de la revista de la asociación latinoamericana de control de patología y recuperación de la construcción Ma et al. (2005), Haddad et al. (2008), Cree et al (2013) y Park y Yim (2016), mostraron que las altas temperaturas dañan seriamente la microestructura y la meso estructura del concreto. Donde la microestructura es una estructura que se integra a otra de mayor tamaño o longitud y la meso estructura es la que engloba a las otras estructuras, por ejemplo, una microestructura, esto causa el perjuicio de las propiedades mecánicas e incluso efectos perjudiciales a nivel estructural debido a la fisuración del concreto a la exposición a las llamas en el caso de incendio.

Grandes incendios han comprometido rigurosamente varias estructuras a lo largo de la historia, la seguridad estructural contra ellos es una de las consideraciones más importantes que deben aplicarse en los edificios. El comportamiento del concreto bajo la acción de agentes agresivos ha sido objeto de estudios en las áreas de tecnología y durabilidad de este material.¹³

El concreto comienza a deteriorarse a temperaturas superiores a los 380 °C en periodos prolongados de tiempo. A los 400 °C se produce una pérdida de resistencia entre 15 – 25 %, según sea de áridos calizos o silíceos. Por encima de los 800 °C, deja de poseer una resistencia a la compresión viable, y se debilitará en mayor medida al enfriarse cuando se apague el fuego.

Los efectos en las estructuras de concreto armado empiezan en el propio comportamiento de los materiales, este pierde menos capacidad a altas temperaturas que el acero. En el caso de acero pretensado se acusa mucho más, cuando el concreto sufre pérdidas del 35 %, se está hablando de que el acero pretensado pierde 60 – 70 % de su capacidad.¹⁴

A diferencia del acero, el concreto está expuesto al fuego, por tanto, las evaluaciones son más complejas. Además de las variables propias de cada incendio como lo son la carga de combustible, aireación, entre otras. La variación en los resultados del concreto puede deberse a una serie de factores intrínsecos como la

¹³ D. M. Dias , J. L. Calmon, G. L. Vieira. Concreto reforzado con fibras poliméricas expuesto al fuego. En: Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción (ALCONPAT). Universidad Federal de Espírito Santo, Vitória-ES, Brasil. 30/12/2019. Pág. 37-38.

¹⁴ Asefa seguros. Efectos de incendios en estructuras de concreto armado. España, Madrid 16/Junio/2011. Párrafo 4. Disponible en: <https://www.asefa.es/comunicacion/patologias/efectos-de-incendios-en-estructuras-de-hormigon-armado#>

densidad, la porosidad, el tipo de árido y el método de vibración durante la ejecución.

Básicamente, los principales efectos del fuego en el concreto armado podrían resumirse en (ver ilustración 1):

- Daños a la adherencia por salto térmico entre las armaduras de acero y el concreto que las recubre.
- Pérdida significativa de espesor del recubrimiento del concreto, debida al efecto spalling o desprendimiento por explosión del concreto.
- Una disminución de la resistencia del concreto cuando su temperatura supera los 380°C durante períodos prolongados.
- Una disminución de la resistencia de las armaduras de acero cuando la temperatura supera los 250°C.
- Daño o destrucción de las juntas y sellados, lo que en determinadas estructuras puede conducir al colapso.¹⁵

Ilustración 1. Exposición de una estructura a base de concreto a una temperatura alta producida por un incendio.



Fuente: Claros Eduardo. 360 en concreto. Propiedades de resistencia del concreto frente al fuego.

¹⁵ Asefa seguros. Efectos de incendios en estructuras de concreto armado. España, Madrid 16/Junio/2011. "Efectos sobre el concreto" Disponible en: <https://www.asefa.es/comunicacion/patologias/efectos-de-incendios-en-estructuras-de-hormigon-armado#>

El uso de fibras en el concreto se ha vuelto popular, principalmente por su resistencia a la fisuración, retracción plástica y mayor tenacidad, éstas dan al concreto un mejor comportamiento posterior a la fisuración, evitan y controlan la formación y propagación de fisuras y también inhiben el fenómeno del desprendimiento (spalling).

El comportamiento de las fibras en un incendio o expuestas a altas temperaturas generalmente cambian de estado o se funden, lo que ayuda a liberar vapor de agua a través de los poros, esta porosidad adicional y los pequeños canales creados al fundirse las fibras pueden disminuir la presión de vapor interna en el concreto y reducir la probabilidad de desprendimiento especialmente en el concreto de alta resistencia.¹⁶

Las fibras como refuerzo secundario se pueden clasificar por el tipo de material del cual están elaboradas como se ve en la tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de las fibras según el material.

FIBRAS METÁLICAS	Secciones discretas de metal que tienen una relación de aspecto (relación entre la longitud y el diámetro) que va desde 20 hasta 100. Estas fibras son de acero (en general de bajo contenido de carbón).
FIBRAS SINTÉTICAS	Secciones discretas que se distribuyen aleatoriamente dentro del concreto que pueden estar compuestas por acrílico, aramid, carbón, polipropileno, poliestileno, nylon, poliéster y demás materiales.
FIBRAS DE VIDRIO	Secciones discretas de fibra de vidrio resistentes al álcali.
FIBRAS NATURALES	Secciones discretas de origen como coco, sisal, madera, caña de azúcar, yute, bambú, entre otros. Cuyos diámetros varían entre 0.5 y 0.2 mm, con valores de absorción superiores al 12%.

Fuente: SIKA COLOMBIA S.A.S. Concreto Reforzado con Fibras. Clasificación de las fibras. 08/2014. Pág. 7

¹⁶ D. M. Dias, J. L. Calmon, G. L. Vieira. Concreto reforzado con fibras poliméricas expuesto al fuego. En: Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción (ALCONPAT). Universidad Federal de Espírito Santo, Vitória-ES, Brasil. 30/12/2019. Pág. 38

Las microfibras en pisos y pavimentos reemplazan la malla electro soldada que es colocada en el centro del espesor, destinado a absorber los esfuerzos de temperatura y retracción en dichos elementos. Las mallas electro soldadas se han usado para resolver los esfuerzos secundarios en pisos y pavimentos. Sin embargo, su almacenamiento, transporte y colocación correcta ha sido una fuente de dificultades en las obras, por no mencionar la inversión en mano de obra y tiempo. Justamente para resolver estos inconvenientes las microfibras logran reemplazar el efecto de la malla.¹⁷

¹⁷ SIKA COLOMBIA S.A.S. Concreto Reforzado con Fibras. 08/2014. Principales aplicaciones. Pág.13.

4. JUSTIFICACIÓN.

Se realiza esta investigación con fin de establecer los cambios en las propiedades mecánicas (resistencia a la compresión y flexión) que se producen en el concreto seco de 4000 PSI (280 kg/cm²) al adicionar fibras de acero y PET, formando así un concreto reforzado, se selecciona este tipo de concreto ya que esta resistencia es utilizada principalmente en elementos estructurales como losetas y columnas. Igualmente se verifica si estas fibras de refuerzo son afectadas por cambios altos de temperatura haciendo que el concreto pierda las propiedades que se obtienen con la adición de estas. Este material viene en sacos y/o bultos de 40 kg, lo que hace que sea de fácil transporte para cualquier tipo de emergencia en obra.

Al realizar los diferentes ensayos de laboratorio donde se fallan muestras tipo cilíndrico y tipo viga, de los diferentes concretos producidos expuestos a temperaturas ambiente y de 210 °C debido a los problemas que se tuvieron con el horno, comparando los resultados obtenidos de las cargas últimas de falla de cada elemento tanto como para un concreto simple como para concreto reforzado, caracterizando qué tipo de fibras es más viable y funcional. Con esto se quiere demostrar si este tipo de concretos reforzados son útiles y seguros al momento de la ocurrencia de un incendio.

Con lo anterior se analiza si este tipo de concretos reforzados son útiles y seguros al momento de la ocurrencia de alguna falla con la elevación de temperaturas en la estructura como lo es un incendio, para así dar información técnica sobre el uso adecuado de las fibras de acero y PET, junto al concreto seco de 4000 PSI, aportando una posible alternativa de un concreto de altas especificaciones con materiales que se encuentran fácilmente en el mercado, beneficiando a la sociedad en el área económica ya que se presenta una opción de reemplazo de un concreto reforzado con otro tipo de elementos en acero.

La parte innovadora del proyecto es usar un concreto seco de 4000 PSI (280 kg/cm²), que es de fácil manejo y rápido transporte, también elevar el material a temperaturas y analizar que sucede con las propiedades mecánicas de este, por otro lado se usan fibras de PET que son con materiales reciclados y fibras de acero, que se puede ver que tiene unas adecuadas resistencias.

5. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.

¿Cuál es el comportamiento de las propiedades mecánicas del concreto seco de 4000 PSI (280 kg/cm²) reforzado con fibras de acero y PET, expuesto a temperaturas de 210 °C por una hora?

6. OBJETIVOS.

6.1. OBJETIVO GENERAL.

Analizar las propiedades mecánicas del concreto seco de 4000 PSI (280 kg/cm²) reforzado con fibras de acero y PET expuesto a temperaturas de 300 °C a 500 °C.

6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Preparar cada espécimen de muestreo y curado basado en el diseño del concreto según la norma NTC 1377.
- Determinar la resistencia a compresión y flexión del concreto reforzado con fibras de acero y PET a temperatura ambiente y elevada a temperaturas de 300°C a 500°C, con base a las normas NTC 673 y NTC 2871.
- Comparar los resultados de los ensayos obtenidos, estableciendo que refuerzo presentan los mejores resultados, en los dos estados de exposición.
- Establecer cuál concreto reforzado con fibras de acero y PET es más viable económicamente para la construcción de una edificación.

7. ESTADO DEL ARTE

En esta parte se van a observar algunos estudios de concreto con fibras de acero y PET, cuando están elevados a temperaturas, con esto se quiere decir que este tema siempre ha sido de investigación debido a la gran cantidad de información que se encuentra y se puede determinar que es de gran importancia para el campo de la ingeniería civil.

João Paulo C. Rodrigues, Luís Laím, António Moura Correia. Behaviour of fiber reinforced concrete columns in fire. Composite structures. Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Rua Luís Reis Santos, Polo II da Universidade. Coimbra, Portugal. 2010.

Las estructuras de concreto al ser sometidas al fuego presentan un buen comportamiento, debido a la baja conductividad térmica y la gran capacidad de aislamiento térmico de las barras de acero. La protección a los incendios son debidos a la distancia que se manejan entre las barras de acero y el concreto. Cuando es sometido a temperaturas, el concreto tiene aún un poco de agua, está en su interno pasa a un estado gaseoso y lo que hace es que tenga un aumento de presión en los huecos del concreto. Se puede provocar una rotura frágil en el elemento, debido a la elevación de temperaturas.

Se investiga el comportamiento de columnas de concreto armado con fibras en el fuego, se determina la elongación térmica y se observa el porcentaje de barras de refuerzo de acero en las columnas en función de las fibras de acero donde debe de ser similar para obtener un buen sustituto. También se tiene fibras de polipropileno, éstas crean un canal para el escape del vapor del agua.

La mezcla de las dos fibras reduce la resistencia a la compresión y modulo elástico en altas temperaturas, se quieren remplazar las barras de refuerzo con las fibras, se ensayan columnas cuadradas de 250mmx250mm con 3m de altura, en el ensayo se observan las características de cada material, se exponen durante 90 min aproximadamente a 500°C.

Se determina que el uso de fibras de polipropileno y acero en el concreto mejoro el comportamiento de las columnas en el fuego, las fibras de acero tiene alta ductilidad después de la fisuración, se concluye que las columnas siempre van a necesitar cierta cantidad de barras de refuerzo.

Se describe el comportamiento de columnas de concreto con fibras de polipropileno y acero en el fuego, también se analizan otras características de este material, es un buen análisis para esto y se concluyen sucesos muy puntuales.

Carrillo Julián, Aperador William, González Giovanni. Correlaciones entre las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero. Ingeniería Investigación y Tecnología, volumen XIV (número 3), julio-septiembre 2013. Pág. 435-450.

La resistencia a tensión y la capacidad de deformación post - agrietamiento que exhibe el concreto reforzado con fibras de acero (CRFA), impulsan su uso en elementos controlados por deformaciones de cortante. Con el propósito de desarrollar ayudas de diseño que promuevan la utilización de CRFA como refuerzo a cortante en el alma de muros de concreto para VIS, se llevó a cabo un estudio experimental para caracterizar las propiedades mecánicas del concreto. Este ensayo incluyó 128 especímenes en forma de cilindros y losetas. De acuerdo con los lineamientos especificados por ACI-318, con el espesor de los muros utilizados en VIS, y con los resultados de investigaciones previas, se seleccionaron tres tipos de fibras en acero con relaciones longitud-diámetro de 55, 64 y 80.

La dosificación de las fibras se expresó como porcentaje de la dosificación mínima que se especifica en ACI-318, De esta manera, se utilizaron cinco dosificaciones: 0, 40, 45, 60 y 75 kg/m³. En el estudio se determinaron las propiedades mecánicas del CRFA sometido a esfuerzos de compresión, tensión y flexión. A partir de las tendencias de los resultados experimentales, se proponen correlaciones numéricas para estimar las propiedades mecánicas básicas, y las propiedades que caracterizan el desempeño a flexión del CRFA.

El uso de fibras en el concreto para proveer comportamiento adecuado antes y después de agrietamiento, ha ganado gran popularidad en las últimas décadas. Desde 1967 varios tipos de fibras se han utilizado en el concreto de forma satisfactoria, pues se han mejorado las propiedades físicas y de durabilidad del concreto.

Este artículo sirve para observar la dosificación que se le va a agregar a la mezcla de concreto y determinar el comportamiento de las resistencias. Se basa en las normas American Concrete Institute (ACI) las cuales son internacionales y varían con las normas técnicas de Colombia NTC, como lo son las NTC 673, apartado 6 especímenes y NTC 2871, apartado 5 ensayo.

SIKA COLOMBIA S.A.S. Concreto Reforzado con Fibras. 08/2014. Pág. 1-8.

Así, los recursos de concreto reforzado diseñados para laborar en flexión (losetas, placas o demás estructuras), otorgan por descontado en su diseño inicial, que el concreto de recubrimiento en la cara inferior se fisurará y se despreja la resistencia a la tensión del material, estos cambios dimensionales sin más grande restricción dimensionales son hechos primordialmente por la retracción del material en la época (horizontal), por las dilataciones y contracciones de procedencia hídrico y térmico (alabeo o giro). Todavía de esta forma cuando el material inicia su proceso de retracción.

La evolución de dichos cambios dimensionales a edad temprana, que se convierten en esfuerzos, tiene una composición de concreto a más grande edad (al pasar de los años), los esfuerzos generados por cambios dimensionales tienen la posibilidad de tener cambios como la retracción del material por secado generados por cargas elaboradas por este fenómeno. También se presentan ciclos de humedecimiento y secado, los ingenieros estructurales en estas las situaciones hacen los recursos de las placas sean gigantes para ayudar a superficies expuestas.

El refuerzo en fibras es más habitualmente empleado para solucionar los esfuerzos generados por retracción y temperatura. Las microfibras que están destinadas a evitar la fisuras del concreto en estado frezo o antes de las 24 horas. Posee una dosificación entre el 0.03 % a 0.15 %, y estas tienen un peso de 0.3 a 0.12 kg/m³, con diámetros de 0.023 mm a 0.050 mm. Se realizó un ensayo en placas de 50mm para controlar la fisuración. En la tabla 4 se puede observar cómo fueron los resultados.

Tabla 2. Valores de fisuración a las 24 horas para un mismo concreto sin reforzar y con diferentes alternativas de reforzamiento. (Fisuración plástica). Entendiendo área de fisuración el producto entre la longitud de la fisura y su ancho.

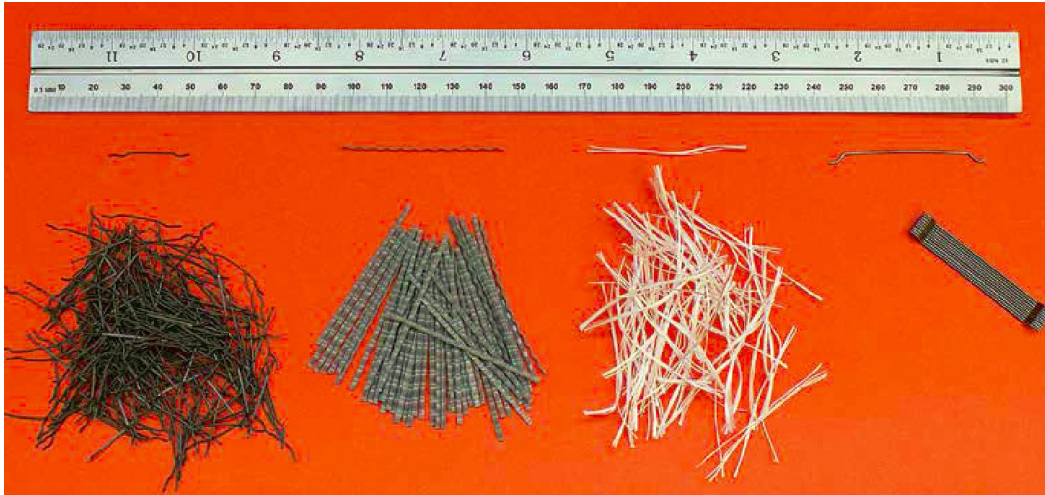
Tipo de Especimen	Área total de agrietamiento	Ancho de fisura promedio	Número total de fisuras	% total de área de agrietamiento con respecto al espécimen de referencia
Patrón	994	0.10	166	100
Malla	824	0.11	102	83
Microfibra A (0.45 k/gm ³)	108	0.09	21	11
Microfibra A (0.9 k/gm ³)	34	0.09	9	3
Microfibra B (0.60 k/gm ³)	59	0.08	20	6
Microfibra B (0.9/ k/gm ³)	4	0.08	2	0

* todas las medidas en mm.

Fuente: SIKA COLOMBIA S.A.S. Concreto Reforzado con Fibras. Clasificación de las fibras. 08/2014. Pág. 7

Y las microfibras que previene la fisuración en estado endurecido y reducen el ancho de la fisura. Su dosificación es de 0.2% a 0.8% del volumen del concreto y los diámetros pueden variar entre 0.05mm a 2mm. Este tipo de fibras aumentan la tenacidad del material, donde se puede seguir resistiendo cargas después de fisurado. En la ilustración 2 se pueden observar los diferentes tipos de macro fibras de algunos materiales y tamaños.

Ilustración 2. Diferentes tipos de macro fibras de SIKA.



Fuente: SIKA COLOMBIA S.A.S. Concreto Reforzado con Fibras. Clasificación de las fibras. 08/2014. Pág. 9

Este artículo de SIKA da un entendimiento claro hacia las fibras en el concreto y que tipos de clasificación existe y las características de estas, dando claros ejemplos de resistencias más altas en cuanto un refuerzo del acero, así mismo explican las aplicaciones de estos concretos reforzados con fibras.

RUANOA Gonzalo, ISLAA Andrés, LUCCIONIA Bibiana, Concreto reforzado con fibras sometido a temperaturas elevadas. En: Mecánica Computacional Vol XXXIII. Buenos aires (23-26 septiembre 2014), Pág. 1101-1115.

Análisis de la influencia del tiempo de exposición a altas temperaturas del concreto, donde se explican los modelos de los HRF y se define la fuerza de cosido que ejercen las fibras uniendo las caras de las fisuras, al componer el material se utilizan teorías de la mezcla y se simula en los ejemplos de aplicación en los que se reproducen ensayos de resistencia residual a flexión luego de exposición a altas temperaturas, donde se hace una comparación teórica y experimental de resultados.

Se realiza una simulación numérica de losetas con concreto simple y con refuerzo en las fibras sometido a diferentes temperaturas, luego enfriadas y últimamente ensayadas a flexión. Se analizó el mecanismo de falla del concreto

Las probetas fueron expuestas a temperatura de 150°C durante 24hs o 500°C durante 1hs. Después se realizaron ensayos de caracterización mecánica residual de los cuales se obtuvieron la resistencia a compresión, módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson, como se ve en la tabla 5. Los ensayos experimentales se dividieron en dos series A y B. Luego de los resultados se observaron las simulaciones de las fibras, en la tabla 3.

Tabla 3. Caracterización mecánica de las muestras.

Propiedad	Temp °C	A-0	A-40H	A-80H	A-40L	B-M	B-NSC	B-HSC
f'_c [MPa]	20	59.3	59.4	75.4	63.1	40.2	52.1	71.6
	150	55.3	57.3	70.0	62.5	39.9	51.1	77.0
	500	35.8	36.6	47.7	38.8	31.0	40.4	53.6
E [GPa]	20	33.3	30.9	33.8	31.9	32.1	34.7	38.4
	150	27.4	26.5	29.3	27.8	27.5	34.2	34.6
	500	13.3	11.0	12.0	10.8	15.7	18.2	22.6
μ	20	0.17	0.17	0.17	0.18	0.19	0.17	0.17
	150	0.15	0.15	0.15	0.15	0.18	0.18	0.17
	500	0.13	0.16	0.16	0.15	0.18	0.17	0.16

Fuente: RUANOA Gonzalo, ISLAA Andrés, LUCCIONIA Bibiana, Concreto reforzado con fibras sometido a temperaturas elevadas. En: Mecánica Computacional Vol. XXXIII. Buenos aires (23-26 septiembre 2014), pág. 1108.

Al modelar el comportamiento del concreto con las fibras de acero se muestra que se deteriora la matriz, donde se cree que es más por la simulación numérica de los modelos de plasticidad y el daño térmico causado en el concreto. Esta simulación de las fibras da una idea de que puede pasarle a las fibras de acero en el momento de exponerlas, pero no está del todo seguro ya que no se hace un seguimiento experimental claro.

I. Vidaud, Z. Frómeta, y E. Vidaud, Una aproximación a los concretos reforzados con fibras. En: Construcción y tecnología en concreto. México (26 junio 2015), Parte I.

Información histórica de la implementación de compuestos tipo fibras para el mejoramiento de las propiedades de materiales, donde se informa que inicialmente en la antigüedad se usaba la paja, yute, bambú y crin de caballo para darle mejor resistencia a los ladrillos de adobe secados al sol.

Conforme el paso tiempo se fueron desarrollando e implementando diferentes mezclas de concreto con fibras para mejorar su resistencia sin embargo se atribuye

gran parte del desarrollo de investigación de este proceso a los ingenieros del ejército americano ya que ellos buscaban como reforzar o potenciar el concreto para que sus edificaciones fueran resistentes ante eventuales ataques con explosivos. Después de esto y ya desarrollando diferentes investigaciones hacia las décadas de los años 50 y 60 Romualdi y Williamson, aseguraron que el adicionamiento de estas fibras de acero incrementaría la resistencia a tensión del concreto y daría a este una mayor tenacidad.

Ya en la década de los 90 con el auge de la construcción prefabricada surge y se populariza el reforzamiento de concreto con fibra de vidrio, al mismo tiempo que se desarrollaban estudios o investigaciones entornos a la incorporación de fibras sintéticas que al ser adicionadas mejoraban igualmente las propiedades del concreto y presentaban ventajas adicionales como menor peso y ausencia de corrosión.

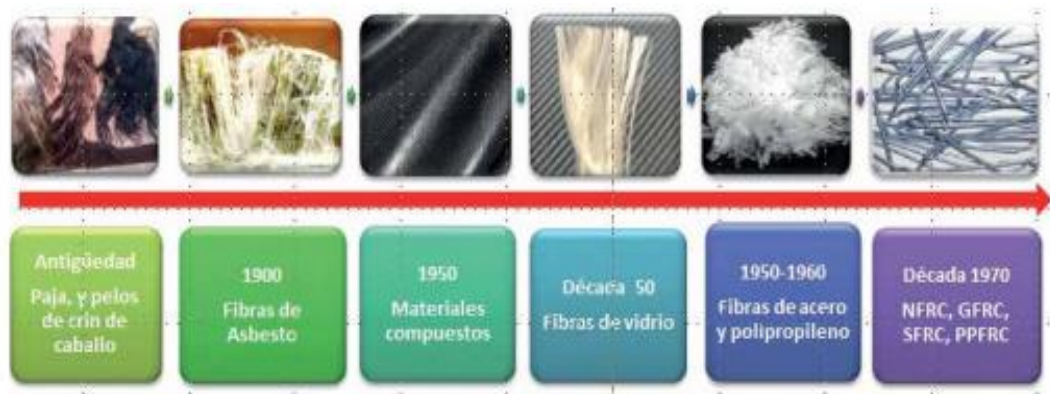
Se dice que en la historia hay diferentes normativas como ACI, ASTM, RILEM, el código europeo EFNARC, entre otras; donde se reconocen entonces desde la segunda mitad del siglo XX a los concretos reforzados con fibras (FRC), o también llamados concretos fibroreforzados a aquellos elaborados a partir de un conglomerado hidráulico (generalmente cemento Portland), agregados (fino y grueso), agua, y fibras cortas, discretas y aleatoriamente distribuidas en su masa.

Es así como se desarrolla toda una tecnología con la adición al concreto de fibras de los más diversos materiales; agrupándose hoy según gran parte de la literatura especializada en cuatro grandes grupos: metálicas, vidrio, naturales y sintéticas.

Se evidencia la Normatividad Internacional del Concreto Reforzado con Fibras (Fiber Reinforced Concrete FRC), en diferentes tipos de obra como lo son pisos industriales, construcción de túneles y taludes, estructuras de concreto prefabricado, entre otros. Explica la clasificación de las fibras que se usan para reforzar un concreto y así mismo las propiedades que desarrolla el concreto al ser adicionado con este tipo de elemento.

Se explica la línea de tiempo de la evolución de los FCR, como se ve en la ilustración 3, donde se puede observar como en los años se fue desarrollando esta tecnología de las fibras desde un concreto primitivo. También enseña el desarrollo de reforzamiento con fibras naturales, vidrio, metálicas y sintéticas se ha potencializado al ser una alternativa económicamente viable.

Ilustración 3. Línea de tiempo de las fibras.

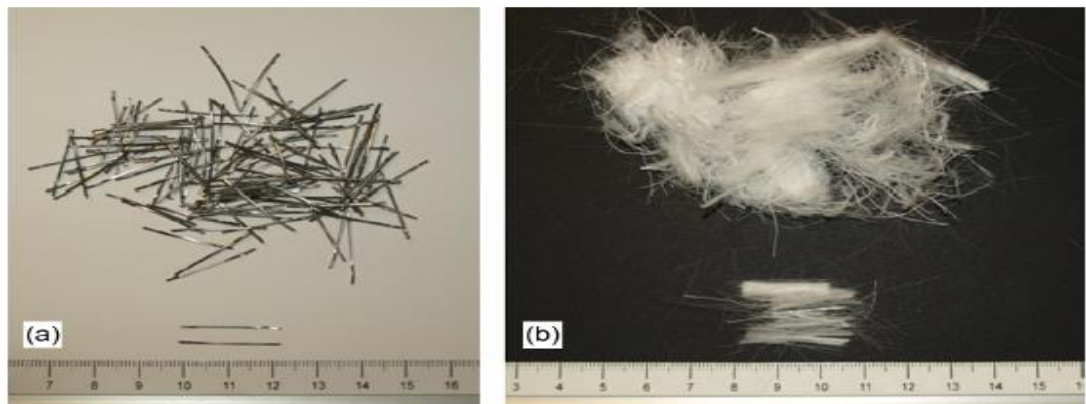


Fuente: I. Vidaud, Z. Frómeta, y E. Vidaud, Una aproximación a los concretos reforzados con fibras. En: Construcción y tecnología en concreto. México (26 junio 2015), Pág. 1

Rubén Serrano, Alfonso Cobo, María Isabel Prieto, María de las Nieves González. Analysis of fire resistance of concrete with polypropylene or steel fibers. Construction and building materials. Technical University of Madrid, Madrid, Spain. 2016.

En el documento se observa el análisis y pruebas realizadas que se le realiza al concreto con fibras de polipropileno o acero, estas se someten al fuego sin adición para así saber la resistencia que tienen frente a este, la finalidad de las pruebas es mejorar estos problemas mediante adiciones de fibra o acero, como se ven en la ilustración 4.

Ilustración 4. Apariencia de las fibras empleadas (a) fibras metálicas, (b) fibras de polipropileno.



Fuente: R. Serrano et al. / Construction and Building Materials.

El concreto es un importante material estructural y es el encargado de preservar las estructuras en caso de incendios por lo mismo se ha convertido en una necesidad mejorarlo y aumentar su resistencia frente altas temperaturas, debido al gradiente

térmico que se genera hay deformaciones y expansiones debido a la elasticidad del material, esto normalmente en temperaturas en un margen de 20 °C a 400 °C disminuyendo hasta un 75%. Si se adicionan fibras de acero se modifica su resistencia a la tracción, evitando aperturas y fisuras, si se adicionan fibras de polipropileno se reduce la permeabilidad y porosidad capilar esto se consigue con 0.7hg/m.

Según las normas adecuadas se realizan las pruebas con los materiales y equipos adecuados divididos en 3 lotes los cuales son: lote uno 6 probetas de concreto sin adición; lote dos 12 probetas con adición de acero de 1% y 2%; lote tres 12 probetas con polipropileno con adiciones de 1% y 2%. De lo anterior mencionado se ensayan el 50% de las probetas directamente a fractura y el restante a ensayos de resistencia al fuego. Se tiene un breve resumen de como fue el proceso para estos cilindros, como se ve en las siguientes ilustraciones.

Ilustración 5. Fabricación y curado de probetas con y sin adición de fibras.



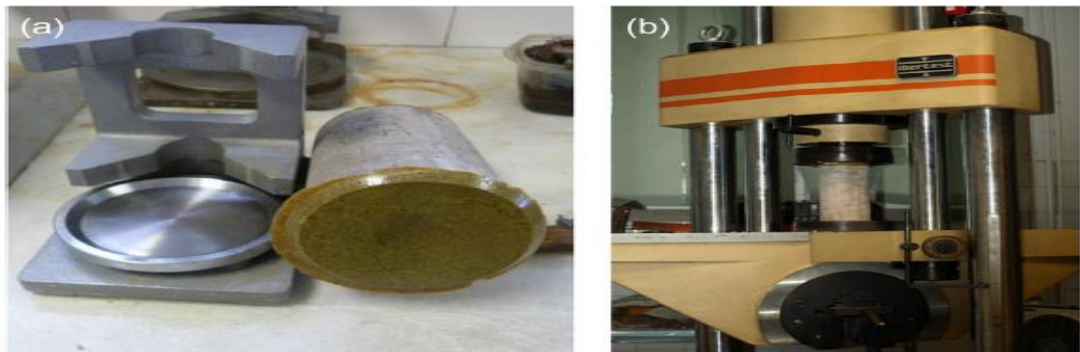
Fuente: R. Serrano et al. / Construction and Building Materials.

Ilustración 6. Ensayo de fuego con exposición directa a las llamas de la superficie del espécimen y medición con termómetro infrarrojo.



Fuente: R. Serrano et al. / Construction and Building Materials.

Ilustración 7. Revestimiento de la muestra (a) y ensayo de compresión (b).



Fuente: R. Serrano et al. / Construction and Building Materials.

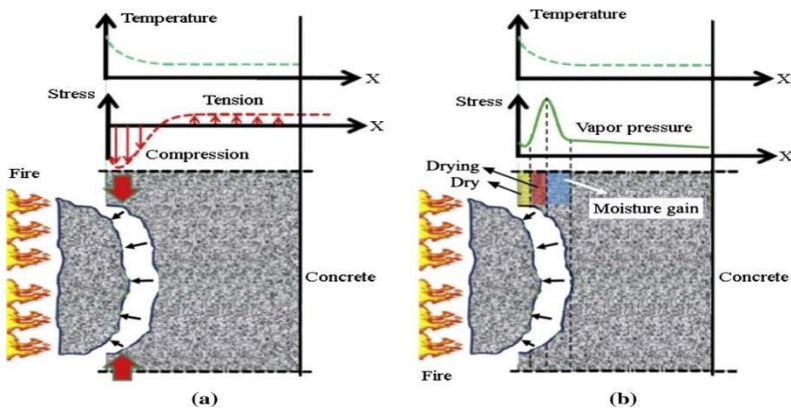
De lo anterior se puede concluir que el concreto con adición de acero sometido directamente al fuego alcanza temperaturas más altas que el concreto sin adición y en caso de tener adición de polipropileno alcanza temperaturas más bajas que sin adición. La resistencia con adición de acero o polipropileno es mayor al concreto sin adición entre las dos es mejor la adición con polipropileno.

Como los demás artículos, se habla sobre fibras de acero y polipropileno, donde se analizan el comportamiento del concreto con estas adiciones a altas temperaturas, se puede observar una gran variedad de resultados y conclusiones.

Yining Ding, Cong Zhang, Mingli Cao, Yulin Zhang, Cecília Azevedo. Influence of different fibers on the change of pore pressure of self-consolidating exposed to fire. Construction and building materials. University of technology dalian – university of minho, china and portugal. 2016.

A la hora de construir alguna estructura con concreto, el fuego es uno de los riesgos más grandes para estas edificaciones al usar barras para refuerzo, esto puede empeorar el riesgo del incendio debido a que se cuándo se expone el acero se calienta, esto pasa por el proceso termo mecánico que se asocia con la temperatura y la expansión térmica. Como se ve en la ilustración x, también se debe al proceso thermo-hydral, donde se relaciona con la masa de vapor, agua y aire de los poros de concreto.

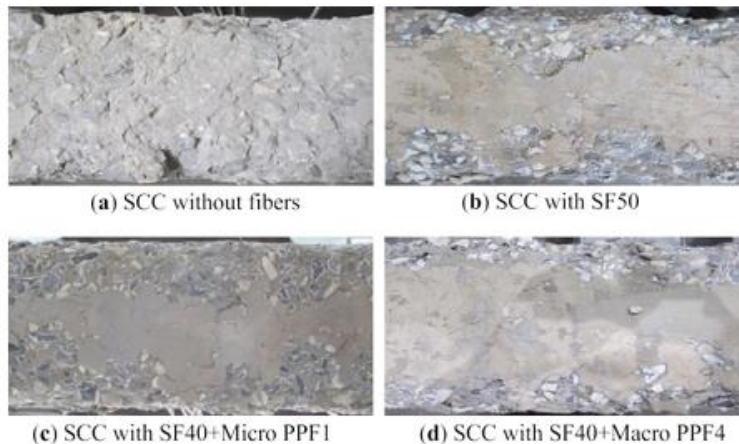
Ilustración 8. Mecanismos de desconchado del concreto a) Teoría de la tensión térmica; (b) Teoría de la presión de poros.



Fuente: Y. Ding y col. / (2016). Construction and Building Materials.

Se muestra el estudio experimental del efecto de la fibra sobre la presión de poro en el SCC (Concreto reforzado con macro fibra), se emplearon fibras de acero, fibras macro y micro polipropileno, se observó la presión de poro respecto al tiempo y la temperatura, se exponen a 600°C durante 180 minutos aproximadamente. En el trabajo se presenta el procedimiento que se aplicó para realizar el análisis del concreto y con esto se obtuvo físicamente lo que se ve en la ilustración 9.

Ilustración 9. La superficie del fondo de la viga después de la exposición al fuego de 4 días muestra una descamación severa pero poco profunda de la cubierta de concreto.



Fuente: Y. Ding y col. / (2016). Construction and Building Materials.

Cuando se calienta una muestra de concreto, la presión en los poros aumentará cerca de la superficie. El gradiente de presión luego conduce la humedad hacia las regiones internas más frías. También se dice que se reduce la relación agua/cemento y el concreto maneja baja permeabilidad, la resistencia a compresión del concreto reduce de muy alta manera después de elevar a altas temperaturas, con la resistencia a la tracción del concreto caliente se tiene una presión intersticial

y se excede, por último el modelo sugerido que se utiliza para evaluar la presión de poro máxima relativa es la FRSCC (Concreto autocompactante reforzado con fibras).

Se explica cuál es el concreto que mejor resiste a temperaturas elevadas, también se hace un análisis muy cuidadoso de varias fibras con losetas, donde se relaciona en el refuerzo del concreto que es con fibras y de los mismos materiales, se hacen análisis con las mismas características mecánicas.

Ramírez, A., Gutiérrez, C. y Granados, J. (2019). Uso de la fibra sintética en el concreto estructural para edificaciones. Redes de Ingeniería, 10(1), 34-42. Noviembre 2016.

Esta investigación trata sobre aumentar la resistencia del concreto sin incrementar el costo, se planteó una hipótesis donde el uso las fibras sintéticas en las estructuras verticales eran limitadas, así que se crea una propuesta viable en la industria de la construcción mediante la implementación de nuevas tecnologías en materiales y alternativas para diferentes usos entre estos se pueden mencionar edificios, vías, puentes, túneles, cimentaciones, entre otros. También el objeto de estudio principal son elementos como losetas y placas de entre piso, cuyo estudio de diseño y proceso constructivo está acorde con las normas vigentes colombianas tales como la NSR-10.

Al observar los ensayos del proceso experimental, que se observan en la tabla 4, donde se analizaron la resistencia a flexión, comprensión y tracción del material, con un acero de refuerzo longitudinal para la varilla de 3/8 de diámetro, una fibra sintética de SIKA y un aditivo para mayor plasticidad al concreto para tener una mezcla homogénea.

Tabla 4. Tipos de ensayos realizados con dosificación de fibra sintética agregada al concreto.

Espécimen	Tipo de ensayo	Fallar a los catorce días	Fallar a los veintiocho días
0 Kg/M3 de Fibra	Compresión	2	2
	Flexión	0	4 (2 con acero)
	Tracción indirecta	2	2
4 Kg/M3 de Fibra	Compresión	2	2
	Flexión	0	4 (2 con acero)
	Tracción indirecta	2	2
8 Kg/M3 de Fibra	Compresión	2	2
	Flexión	0	4 (2 con acero)
	Tracción indirecta	2	2
12 Kg/M3 de Fibra	Compresión	2	2
	Flexión	0	4 (2 con acero)
	Tracción indirecta	2	2

Fuente: Ramírez, A., Gutiérrez, C. y Granados, J. (2019). Uso de la fibra sintética en el concreto estructural para edificaciones. Redes de Ingeniería, 10(1). Noviembre 2016. Pág. 27.

Con los resultados del estudio se observó que la dosificación más óptima de las fibras es de 4 kg/m³, ya que aumento la resistencia a la compresión en un 35%. Así mismo hay reducción de fuerzas sísmicas según la modelación de la estructura de un edificio de 3 pisos en SAP 2000.

Este artículo enseña como las fibras sintéticas son viables económicamente y pueden ser una gran ayuda para las resistencias de un concreto, según la dosificación por metro cubico de concreto. En diferencia a la presente investigación es la elevación a altas temperaturas y el uso de otro tipo de fibra.

Josej Novák, Alena Kokoutková. Fire response of hybrid fiber reinforced concrete to high temperatura. Modern Building Materials, Structures and Techniques. CTU in Prague, Faculty of Civil Engineering, Department of Concrete and Masonry Structures, Thákurova. 2017.

En la industria de la construcción hay una gran variedad de materiales cada uno comportándose de manera diferente frente a cambios de temperatura, este documento se basará en el estudio del concreto hibrido observando los cambios que se presentaran en cada una de las distintas fases en las cuales será sometido, en este caso como lo son el envejecimiento, tensión dividida o exposición a temperaturas tales como -20 °C, 400 °C y 600 °C.

El concreto es un material el cual deja que sean investigados muchos parámetros como lo son la capacidad de carga, la estabilidad, la deflexión, la rigidez y la parte más esencial en este momento que es la resistencia al fuego, no escoger un buen material podría desencadenar grandes daños o accidentes.

En el proceso experimental se dejan envejecer en los laboratorios frente a condiciones normales varias muestras de concreto, además de ellos Se determinó la velocidad de calentamiento, por lo tanto el gradiente de temperatura, utilizado durante el procedimiento de calentamiento para evitar cualquier daño causado por la expansión extensa del vapor en la matriz de concreto. Todos los termopares conectados a la máquina de control monitorearon y registraron el desarrollo de la temperatura a tiempo a temperatura en la interfaz entre los calentadores y la muestra de concreto se incrementó paso a paso hasta alcanzar los 450 °C o 650 °C Mientras que la temperatura en el núcleo se estabiliza, la temperatura en el costado de las muestras disminuye rápidamente debido a la temperatura ambiente del entorno circundante. La prueba de compresión del concreto se llevó a cabo en cubos de 150 mm por debajo de 20 ° C, 400 ° C y 600 ° C de acuerdo con CSN EN 12390-3. Las muestras junto con los calentadores cerámicos se insertaron en la termo caja de lana de vidrio.

Luego se colocaron los termopares entre la muestra y los calentadores cerámicos con el objetivo de controlar y monitorear la temperatura de los calentadores cerámicos. Una vez que se alcanzó la temperatura deseada en la muestra del núcleo, se realizó la prueba de compresión en una máquina de prueba Inova 200F. El tiempo de prueba de compresión de cada muestra tuvo que mantenerse por debajo de los 10 minutos para evitar una pérdida excesiva de temperatura.

La prueba de tensión dividida se realizó en cubos de 150 mm de acuerdo con CSN EN 12390-6. Los cubos se dividieron en tres grupos, junto con calentadores de cerámica insertados en termo cajas y calentados a la temperatura deseada durante un tiempo específico, se controló por deformación de 0.02 mm / seg en el rango de deformación 0 - 5 mm y 0,1 mm para deformaciones superiores a 5 mm.

Tanto la resistencia a la tracción como a la compresión del concreto híbrido reforzado con fibra disminuyen al aumentar la temperatura. La resistencia máxima a la compresión 400C y 600C representa el 60% y 35% respectivamente de la fuerza inicial el pico resistencia a la tracción 60% y 30%, respectivamente. La presencia de refuerzo fibroso deja de tener efecto sobre la resistencia a la tracción residual del material a medida que aumenta la temperatura.

GÁLVEZ, Jaime y GARCÍA, Marcos. Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de poliolefina bajo la acción de temperatura elevada. Madrid (2018).

Estudio de concretos reforzados con fibras en poliolefina de SIKAFiber T-60 a temperaturas elevadas, se evalúa las fibras a por debajo del punto de fusión que es 175 °C, y se analizan los cambios físicos y químicos visualmente. Luego de observar las fibras solas, se le adicionan al concreto, cerca al punto de fusión de las fibras, se calientan las probetas con tasa de calentamiento de 3 °C/min y una velocidad de enfriamiento de 20 °C que es a temperatura ambiente, para el análisis de las características mecánicas del concreto, donde se indaga la compresión, flexión por tracción, energía de fractura y módulo de elástico.

El aporte de esta investigación es el análisis de las propiedades mecánicas de un concreto reforzado con fibras de poliolefina expuestas a temperaturas de máximo 210 °C. Esta investigación se basa también en el estudio de las fibras de poliolefina por si solas, teniendo en cuenta que es fue en España, Madrid así que estos estudios están regidos por las normas de La Asociación Española de Normalización y certificación AENOR.

Choque Yucra Carmen Iris, Paye Nina Yoseline Milagros. “Evaluación de las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibra de vidrio a elevadas temperaturas” Universidad nacional de San Agustín de Arequipa. Escuela Profesional de Ingeniería de Materiales Perú. 2019.

Evaluar la influencia de distintas dosificaciones de fibras de vidrio tipo E en el comportamiento mecánico del concreto sometido a elevadas temperaturas para así mejorar sus propiedades mecánicas.

En dicha investigación se evaluó el efecto que provoca los incendios en el concreto y por ello se propone una solución alternativa de reforzar al concreto con fibra de vidrio tipo E para así protegerlas del incendio antes de su colapso si llegase el caso, ya que la fibra mitigara en este caso los efectos nocivos que las altas temperaturas puedan generar sobre la matriz del concreto y así evitar el rápido deterioro de las propiedades mecánicas.

Para el efecto se fabricó probetas de concreto reforzadas con 3 porcentajes distintos de fibra de vidrio tipo E, el fraguado se realizó a los 40 días y después se sometió a las temperaturas de 250 °C, 450 °C y 650 °C durante 30 minutos y 60 minutos, luego se enfrió mediante un chorro directo de agua y finalmente se realizó los ensayos mecánicos para ver cómo afecto la exposición a altas temperaturas en sus propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibra de vidrio y al concreto convencional.

La diferencia a la propuesta de trabajo de investigación, es el uso de las fibras, ya que son de vidrio tipo E, donde las temperaturas serán de 250 °C a 650 °C, además de esto se rigen por las normas técnicas del Perú NTP.

8. MARCO DE REFERENCIA.

8.1. MARCO TEÓRICO.

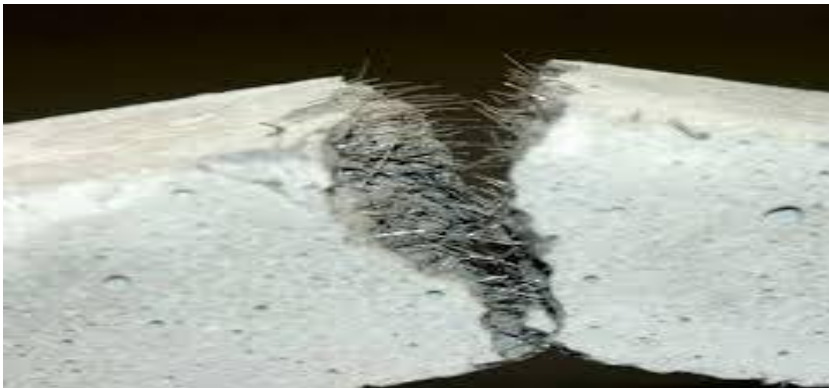
- **Generalidades del material.**

El concreto se produce durante el mezclado de agua con cemento y agregados (finos y gruesos); al realizar la mezcla se produce una reacción química la cual causa un calor de hidratación lo que genera el endurecimiento de la masa para formar una consistencia pétrea. Dependiendo la composición de la mezcla y el porcentaje de materiales que se disponga de cada uno se consigue una resistencia diferente.¹⁸

En la actualidad existe una alternativa de una marca reconocida en el medio de la construcción, esta empresa introdujo al mercado una mezcla lista para la adición de agua y la producción de un concreto especialmente diseñado para la fundida de columnas, losetas, placas, pisos y cualquier elemento de concreto estructural y no estructural, con resistencia de diseño de 210 kg/cm² y 280 kg/cm².

El concreto reforzado con fibras es un elemento que contiene fibras cortas uniformemente distribuidas como se aprecia en la ruptura de la viga en la ilustración 10. Éstas pueden ser metálicas, sintéticas (polipropilenos o acrílicas), de vidrio y naturales, cada una de las cuales proporcionan propiedades diferentes al concreto. Según la definición del American Concrete Institute (ACI), no es más que concreto hecho a partir de cementos hidráulicos, que contiene agregados como la arena y grava, también agua y fibras discretas discontinuas cuyo propósito es contribuir a la mejora de determinadas características de los concretos.

Ilustración 10. Ruptura de una viga de concreto reforzado con fibras metálicas.



Fuente: SIKA COLOMBIA S.A.S. Concreto Reforzado con Fibras. Clasificación de las fibras. 08/2014. Portada.

¹⁸ OSORIO, Jesús David. "Resistencia mecánica del concreto y resistencia a la compresión". 28 junio de 2013.

- **Las fibras de acero en el concreto.**

Las fibras metálicas para refuerzo estructural de concreto son producidas con alambres de acero de bajo contenido de carbono. Actúan como una armadura tridimensional, absorbiendo las tensiones aplicadas en el elemento estructural, aumentando así su resistencia. El uso de fibras de acero para el refuerzo del concreto está en continuo aumento en términos cuantitativos y aplicativos. En su inicio, la fibra metálica se empleó en dos campos fundamentales: Concreto proyectado para el revestimiento temporal de túneles y concreto vaciado en obras de pavimentación industrial, aeropuertos, puertos y demás estructuras.

Las ventajas de la adición de fibras al concreto son las siguientes:

- Suministran tenacidad a flexión (capacidad de absorber energía después del agrietamiento).
- Desarrollan la resistencia a tensión directa, a cortante y a torsión.
- Aumentan las propiedades de resistencia a impacto y a fatiga.
- Mejoran el comportamiento de contracción y flujo plástico
- Incrementan la durabilidad en ciertas condiciones climáticas.¹⁹

- **Las fibras sintéticas en el concreto.**

Cuando se hablan de las fibras sintéticas para reforzamiento del concreto, la composición de polímeros de alta tenacidad y resistencia permite el óptimo desempeño del mismo, estas se anclan a la masa de concreto formando una matriz de refuerzo tridimensional que se distribuye a través de toda la mezcla, reduciendo la fisuración y mejorando las propiedades físicas del concreto.

Se producen de la recolección de botellas plásticas y materiales similares provenientes del posconsumo (reciclado) el cual es molido y clasificado pasando por un proceso de extrusión y homogenización plástica la cual es convertida en monofilamentos debidamente pesados, cortados y empacados (ver ilustración 11).

¹⁹ Bianchini Ingeniero Maccaferri. Fibras metálicas: para refuerzo estructural de concreto. Barcelona, España. Disponible en: <https://www.interempresas.net/Construccion/FeriaVirtual/Producto-Fibras-metalicas-Wirand-157850.html>

Ilustración 11. Material reutilizado para la implementación de las fibras PET.



Fuente: METAINPLAST S.A.S. Plástico PET.

Las ventajas de la adición de fibras sintéticas en PET al concreto son:

- Aumenta el índice de tenacidad del concreto.
 - Brinda refuerzo tridimensional.
 - No se oxida, lo que aumenta su durabilidad, es ideal para ambiente de alta salinidad.
 - Mejora la absorción al impacto.
 - Aumenta el índice de tenacidad del concreto.
 - Reduce el alabeo o encorvamiento del concreto.
 - Controla la fisuración y reduce la retracción por dinámica plástica natural del concreto.²⁰
-
- **Temperaturas en las estructuras de concreto.**

Un incendio constituye una amenaza para la vida por la asfixia, el envenenamiento y las temperaturas elevadas, pero de producirse en un edificio el peligro aumenta por la propia estructura del edificio. En un recinto exterior, con aire fresco, es casi imposible superar los 700 °C. En un recinto cerrado la temperatura sube un 30 % más debido a la reflexión y radiación de las paredes.

El punto crítico de ignición (flashover point) se sitúa en los 273 °C, a partir de aquí se desarrolla el llamado fuego equivalente o normalizado que es al que se refieren todas las reglamentaciones y las resistencias al fuego de materiales, medido en

²⁰ METAINPLAST S.A.S. Fibra para reforzamiento del concreto. Disponible en: <https://www.metainplast.com/productos/mallapet3d/>

minutos. Por encima de 40 minutos de fuego equivalente ya estamos hablando de un incendio muy importante con riesgo cierto para la vida humana.

Para tener una referencia de cómo afectan las altas temperaturas a los materiales, a los 400 °C el acero se vuelve dúctil y a los 600 °C se produce una disminución brusca de su resistencia. Asimismo, el concreto comienza a deteriorarse a temperaturas superiores a los 380 °C en periodos prolongados de tiempo. A los 400°C se produce una pérdida de resistencia entre 15-25 %, según sea de áridos calizos o silíceos. Por encima de los 800 °C, deja de poseer una resistencia a la compresión viable y se debilitará en mayor medida al enfriarse cuando se apague el fuego.²¹

- **Efectos de elevadas temperaturas sobre el concreto reforzado.**

Los efectos en las estructuras de concreto reforzado empiezan en el propio comportamiento de los materiales. El concreto pierde menos capacidad a altas temperaturas que el acero. En el caso de acero pretensado se acusa mucho más cuando el concreto sufre pérdidas del 35 %, es decir, el acero pretensado pierde 60-70 % de su capacidad de soportar cargas a tensión.

A diferencia del acero, el concreto está expuesto al fuego, por tanto, las evaluaciones son más complejas. Además de las variables propias de cada incendio (carga de combustible, aireación y demás factores), la variación en los resultados del concreto puede deberse a una serie de factores intrínsecos como la densidad, la porosidad, el tipo de árido y el método de vibración durante la ejecución. Básicamente, los principales efectos del fuego en el concreto reforzado pueden resumirse en:

- Daños a la adherencia por salto térmico entre las armaduras de acero y el concreto que las recubre.
- Pérdida significativa de espesor del recubrimiento del concreto, debida al efecto spalling o desprendimiento por explosión.
- Una disminución de la resistencia de las armaduras de acero cuando la temperatura supera los 250 °C.
- Daño o destrucción de las juntas y sellados, lo que en determinadas estructuras puede conducir al colapso.

²¹ Asefa seguros. Efectos de incendios en estructuras de concreto armado. España, Madrid 16/Junio/2011. "Daños a la adherencia" Disponible en: <https://www.asefa.es/comunicacion/patologias/efectos-de-incendios-en-estructuras-de-hormigon-armado#>

8.2. MARCO LEGAL.

El desarrollo de esta investigación sobre los materiales para este concreto con fibras se basa en las Normas Técnicas Colombianas, además de esto se agrega las normas de las fichas técnicas de los productos con los cuales se va a trabajar, que se observan en la tabla 5.

Tabla 5. Información de las normas que rigen la investigación.

NORMA	TÍTULO	OBJETO O ALCANCE PRINCIPAL
NTC 1486	DOCUMENTACIÓN, PRESENTACIÓN DE TESIS, TRABAJOS DE GRADO Y OTROS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN.	El centro de documentación de Ingeniería ha realizado este instructivo con el fin de orientar a la comunidad educativa en la aplicación de las normas ICONTEC en la presentación de trabajos escritos y de grado.
NTC 174	ESPECIFICACIONES DE LOS AGREGADOS PARA CONCRETO	Esta norma establece los requisitos de gradación y calidad para los agregados finos y gruesos, (excepto los agregados livianos y pesados) para uso en concreto.
NTC 121	ESPECIFICACIÓN DE DESEMPEÑO PARA CEMENTO HIDRÁULICO	Rige la calidad del cemento en Colombia, es una norma de especificaciones por desempeño que cubre los cementos hidráulicos para aplicaciones generales y especiales e involucra parámetros de durabilidad
NTC 5541	CONCRETOS REFORZADOS CON FIBRA	Se aplica a todas las formas de concreto reforzado con fibra que se entrega a compradores, con los ingredientes mezclados uniformemente y de las que se pueden hacer ensayos
NTC 1377	ELABORACIÓN Y CURADO DE ESPECÍMENES DECONCRETO PARA ENSAYOS DE LABORATORIO	Establece los procedimientos para la elaboración y curado de muestras de concreto en el laboratorio bajo estricto control de materiales y condiciones de ensayo, usando concreto que se puede compactar por apisonamiento o vibración, como se describe en la presente norma.

NTC 673	ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECIMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO	Este método de ensayo trata sobre la determinación de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto, tales como cilindros moldeados y núcleos perforados. Se encuentra limitado al concreto que tiene un peso unitario mayor que 800 kg/m ³ [50 lb/ft ³].
ASTM A820	STEEL FIBERS FOR REINFORCED CONCRETE	Abarca los requisitos mínimos de las fibras de acero para un concreto reforzado.
NTC 3696	MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL TIEMPO DE FLUIDEZ DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS A TRAVÉS DEL CONO DE ASENTAMIENTO INVERTIDO	Esta norma determina el tiempo de fluidez del concreto reforzado con fibras, se puede hacer en el laboratorio o en obra.
NTC 5721	MÉTODO DE ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE ENERGÍA (TENACIDAD) DE CONCRETO REFORZADO CON FIBRA	Tiene el fin de calcular la capacidad de absorción de energía del elemento hasta una deflexión específica. Está principalmente orientado a evaluar el desempeño de la concreta lanzado reforzado con fibra. Sin embargo, este método de ensayo puede ser empleado en la evaluación de concreto con otros tipos de refuerzo para efectos comparativos y aplicaciones.
NTC 2871	MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA FLEXIÓN	Este método de ensayo se utiliza para determinar la resistencia del concreto a la flexión mediante el uso de una viga simple con carga en los tercios medios.
NSR-10 TÍTULO C	CONCRETO ESTRUCTURAL	Proporciona los requisitos mínimos para el diseño y construcción de elementos de concreto estructurales, donde se evalúan las resistencias existentes en el concreto.

Fuente: Elaboración propia., objeto y/o alcance de cada norma.

8.3 MARCO CONCEPTUAL.

El concreto en general se produce durante el mezclado de agua, cemento y agregados finos (arena) y gruesos (gruesos), al realizar la mezcla se produce una reacción química la cual causa un calor de hidratación, lo que genera el endurecimiento de la masa para formar una consistencia pétrea.

Depende de la composición de la mezcla y el porcentaje de materiales que se disponga de cada uno se consigue una resistencia diferente. Por lo general, la resistencia mínima que se utiliza en la construcción para elementos estructurales es de 3000 PSI o 21 MPa, para el diseño de mezclas existen varios métodos, uno de los más utilizados es el método ACI (American Concrete Institute).

Que establece los parámetros para la elaboración de mezclas de concreto hidráulico, contemplando todas las posibles variables que se puedan presentar al momento de la elaboración y diseño de las mezclas. El método ACI establece valores de clasificación, por ejemplo, el asentamiento, la consistencia y el grado de trabajabilidad que obtenga la mezcla. Con esto se determina que a mayor relación agua cemento (A/C) disminuye la resistencia a la compresión en el concreto, aunque cabe nombrar que si aumenta esta relación el concreto es más trabajable.

También en la resistencia influye la cantidad de aire que contenga la mezcla, sin aire incluido la mezcla obtendrá una mayor resistencia a comparación de una mezcla que contenga aire.

El método también da los parámetros para la cantidad de agua que debe ser incluida de acuerdo con el asentamiento y el contenido de aire presente, todos estos valores y la cantidad de agua de mezclado se deben tener en cuenta en los cálculos de factores para mezclas de prueba, el método presenta tablas con recomendaciones granulométricas tanto para agregado grueso como para fino, que varían dependiendo los porcentajes que pasan ciertos números de tamices.²²

Otros métodos con los que se cuenta son, el método de Fuller, el método de Walker y el método del módulo de fineza. Existen varios ensayos de laboratorios desarrollados por el INVIAS (Instituto Nacional de Vías), que determinan el uso de los materiales y reglamentan el método de desarrollo de las pruebas en el laboratorio como en campo y los organizan en secciones dependiendo del tema que traten.

²² OSORIO, Jesús David. Resistencia mecánica del concreto y resistencia a la compresión. 28 Junio de 2013.

El concreto posee un parámetro de resistencia el cual caracteriza sus propiedades mecánicas, el valor de la resistencia del concreto es determinado a los 28 días de haber realizado la mezcla, se hace un curado correcto para obtener la resistencia adecuada, el curado se encarga de controlar la pérdida de agua de la masa del material por efecto de la temperatura, sol y viento, esto se hace con el fin de garantizar la completa hidratación de los granos de cemento y tener la resistencia final. Se debe tener en cuenta que la resistencia del concreto, aproximadamente el 70%, se genera en los primeros 7 días y el 85% de resistencia se logra a los 14 días.²³

El concreto es caracterizado por tener una excelente resistencia a la compresión, esta es la característica mecánica principal del material, se define como la capacidad de soportar una carga por unidad de área y se expresa en términos de esfuerzo. Sin embargo, la resistencia del concreto por tensión es mínima, la cual apenas le ayuda a disminuir los agrietamientos que se pueden producir por la influencia de tensiones inducidas por restricciones estructurales.²⁴

Para mejorar la resistencia del concreto a tensión se utilizan refuerzos generalmente de acero, aunque también se usan diferentes tipos de refuerzo como las fibras de vidrio, acero, naturales y sintéticas o se reemplazan los agregados por otros materiales no convencionales que ayuden a aumentar la resistencia.²⁵

Existen las microfibras y las macrofibras para reforzar el concreto, las primeras ayudan al concreto en su retracción plástica para evitar que este se fisure, esto sucede antes de las 24 horas de haberlo fundido, las segundas incrementan la resistencia al impacto, incrementa la resistencia a la fatiga, sustituye las mallas electrosoldadas, y le genera una mayor durabilidad al concreto.²⁶

El proyecto se basa en estudiar el comportamiento mecánico del concreto cuando se agregan fibras de acero y PET, elevado a temperaturas. Por lo tanto, se realizan ensayos de compresión y flexión a una mezcla de concreto, la cual se le adicionaran estas fibras. Esto se realizará con el fin promover el uso de materiales reciclables

²³ Osorio, Jesús David. Resistencia mecánica del concreto y resistencia a la compresión. 28 junio de 2013.

²⁴ Ibid., 28 junio de 2013.

²⁵ Monero Eric, Solís Rómel, Varela Jorge y Gomez Marco. "Resistencia a tensión del concreto elaborado con agregado calizo de alta absorción". 30 octubre de 2016.

²⁶ Rodríguez Pablo, Pérez Ángel y Velásquez Julio. Propuesta de un procedimiento para el reciclado del polietileno de alta densidad. Agosto de 2014.

como lo es el PET, también para mirar la viabilidad del material para uso en obra reemplazando los refuerzos clásicos del concreto como lo son las mallas de acero.

En la actualidad el reciclaje de los materiales poliméricos es importante para la reducción del impacto ambiental producido por el hombre, ayudando a reducir las emisiones de dióxido de carbono y otros químicos al medio ambiente, los cuales puedan afectar nuestra capa de ozono.

El tereftalato de polietileno (PET) posee una descomposición duradera que puede durar entre 100 a 1000 años, causando afectaciones al medio ambiente. Reciclar puede verse como el ejemplo de llevar a cabo el concepto de ecología industrial, esto hace pensar que la reutilización de estos materiales puede ser de gran provecho en la industria para una reducción de costos. La eficiencia del reciclado de plásticos como método de gestión ambiental está ligada a la eficacia de los procedimientos para llevarlo a cabo.²⁷

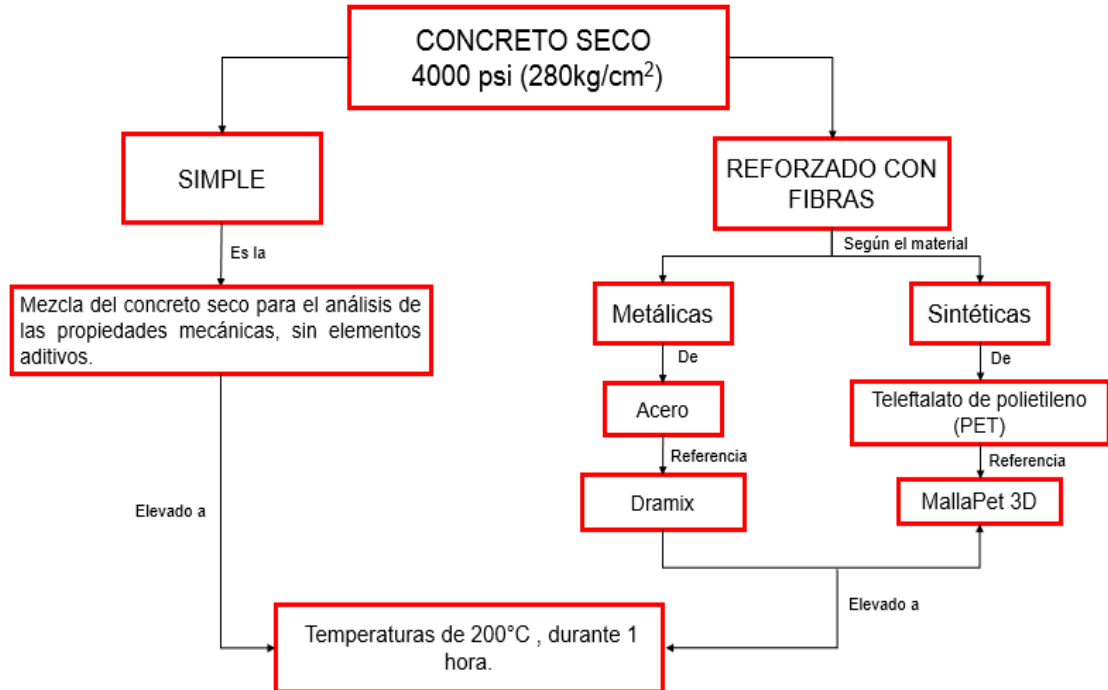
Las implicaciones que tiene los cilindros al tener 41 días de curado y no a los que dice la norma, teóricamente se dice que las muestras tienen su máxima resistencia a los 28 días, pero al observar las resistencias a compresión dadas a los 41 días, se dice que las resistencias van a ser mayores, esto también lo afecta la relación agua cemento que tenga el material, donde se logra la permeabilidad del material.

²⁷ SUHENDRO, Bambang. Toward green concrete for better sustainable environment. Agosto de 2014.

9. METODOLOGÍA.

Esta investigación se basó en el análisis de las propiedades mecánicas del concreto seco de 4000 PSI (280 kg/cm²) sin ninguna adición de fibras (concreto simple), reforzado con fibras de acero y PET, sometido a elevadas temperaturas 210 °C durante una (1) hora, principalmente se tenía la idea de que eran temperaturas de 300 °C a 500 °C, pero esto no pudo ser posible porque el horno que se usó en el laboratorio no cumplía con la capacidad volumétrica para hacer las pruebas, como se menciona en la parte de introducción . Para tener más claridad se va a determinar el análisis de este concreto de la siguiente manera, como se ve en la ilustración 12.

Ilustración 12. Diagrama de flujo implementación del concreto seco de 4000 PS1 (280kg/cm²).



Fuente: Elaboración propia.

El procesamiento se realizó paso a paso, dividido en fases, para tener claridad de lo que se desarrolló, como se observa a continuación.

9.1. FASES DEL PROCESO DE INVESTIGACIÓN.

FASE 1. Preparación de muestras para los ensayos de las propiedades mecánicas según NTC 1377.

La norma NTC 1377 “Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio”, establece que los procedimientos para la elaboración y curado de muestras de concreto en el laboratorio bajo estricto control de materiales y condición de ensayo usando concreto que se puede compactar por apisonamiento o vibración, como se describe en la norma.

Para cilindros: Los cilindros para ensayos tales como resistencia a la compresión, módulo de elasticidad de Young, fluencia y resistencia a la tracción indirecta, pueden ser de varios tamaños, con un mínimo de 50 mm de diámetro x 100 mm de longitud. Cuando se desea establecer la correlación o comparación con cilindros hechos en la obra, los cilindros deben ser de 150 mm x 300 mm. Por otro lado, las dimensiones se deben controlar de acuerdo con el numeral 4.4 y el respectivo método de ensayo.

Para losetas: Las losetas para resistencia a la flexión, se realizan para resistencia a la flexión, se deben elaborar con ejes longitudinales en posición horizontal, a menos que el método de ensayo en cuestión exija otra cosa, y deben cumplir, en sus dimensiones, los requisitos del método de ensayo específico.

Para el número de muestras, usualmente, y si no se especifica otra cosa, se moldean tres o más muestras según a la cantidad de ensayos que se van a realizar, para cada edad y condición de ensayo. Las muestras que involucren una variable se deben elaborar en tres cargas distintas como mezcladas en diferentes días. Para cada variable se debe elaborar un número igual de muestras en un día dado. Cuando es imposible hacer al menos un espécimen para cada variable en un día dado, una mezcla de la serie completa de muestras se debe concluir en el menor número posible de días, y una de las mezclas se debe repetir cada día como testigo.

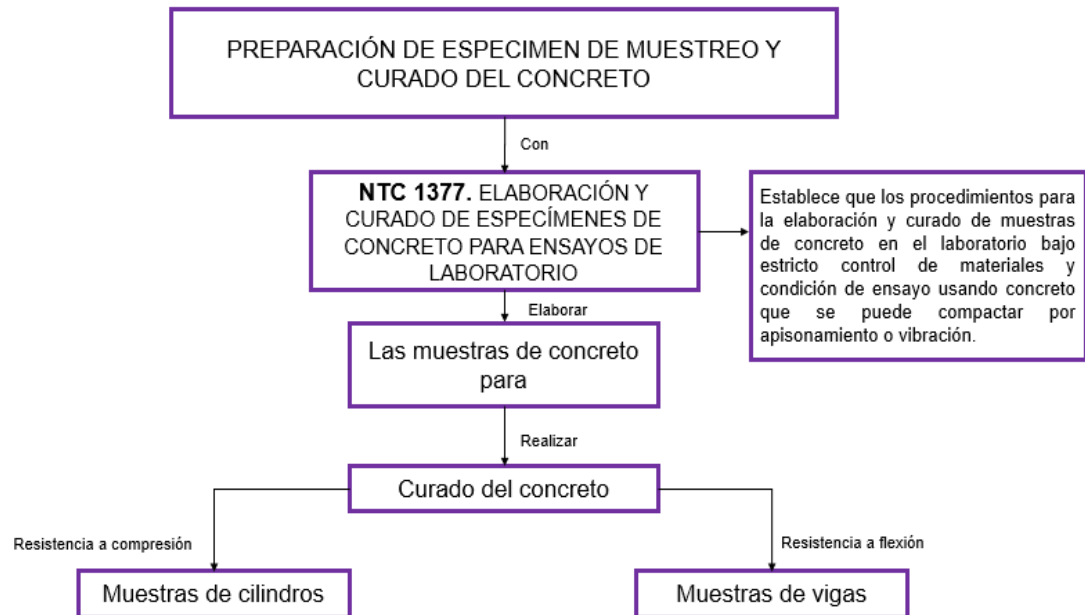
28

Después de verificar la calidad de los agregados del concreto, se realiza la preparación de las muestras, donde en la norma explica las dimensiones de los

²⁸ NTC 1377 (Primera actualización), Ingeniería civil y arquitectura. Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio. Disponible en: https://www.academia.edu/32426842/NORMA_T%C3%89CNICA_NTC_COLOMBIANA_1377_INGENIER%C3%8DA_CIVIL_Y_ARQUITECTURA_ELABORACI%C3%93N_Y_CURADO_DE_ESPEC%C3%8DMENES_DE_CONCRETO_PARA_ENSAYOS_DE_LABORATORIO

cilindros y las losetas , también como se deben realizar para este proceso según las características mecánicas que se van a tener en la investigación, ver ilustración 13.

Ilustración 13. Diagrama de flujo preparación de las muestras y curado del concreto.



Fuente: Elaboración propia.

Al tener los especímenes de muestreo listos y curados se siguió al proceso de elevación de temperaturas del concreto, como se ve en la tabla 6, con el tiempo y temperatura que se colocaron las muestras, para analizar el comportamiento de las propiedades mecánicas.

Tabla 6. Especificaciones de tiempos y temperaturas de exposición.

TIEMPO DE EXPOSICIÓN	TEMPERATURA A ELEVAR
1 hora	200° C

Fuente: Elaboración propia.

Se tiene esta temperatura, debido a lo mencionado antes, donde el horno del laboratorio, no se pudo colocar a más de 210 °C, este era su límite. Se tiene en tiempo de exposición una hora, porque se observa que los especímenes ya se veían de un color blanco, donde indicaba que ya no tenían humedad, además de esto era una recomendación del laboratorista.

FASE 2. Determinación de la resistencia a la compresión y flexión del concreto reforzado según NTC 673 y NTC 2871.

Luego de preparar las muestras, pasado su proceso de curado y someter los cilindros y las losetas a elevadas temperaturas, se realizó los ensayos de los comportamientos mecánicos del concreto con y sin refuerzo para analizar qué tipo de fallas se obtuvieron y clasificarlas, como se ve en la ilustración 14. Las normas dicen lo siguiente.

Para la resistencia a compresión se usan cilindros con la NTC 673 “Ensayo de resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto” y dice que este método de ensayo trata sobre la determinación de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto, tales como cilindros moldeados y núcleos perforados. Se encuentra limitado al concreto que tiene un peso unitario mayor que 800 kg/m^3 [50 lb/ft^3].

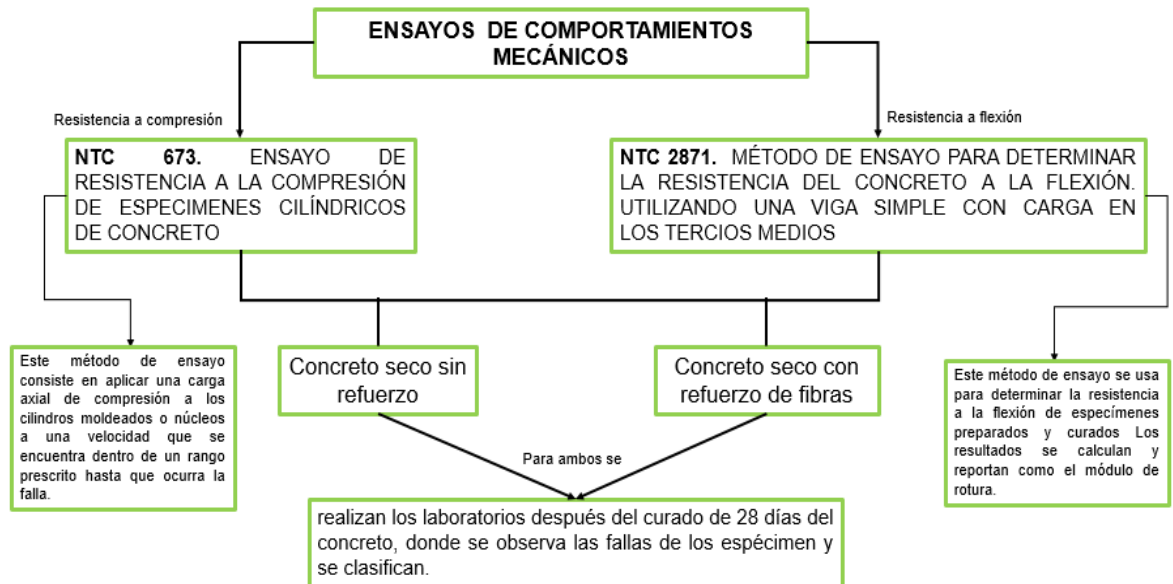
Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros moldeados o núcleos a una velocidad que se encuentra dentro de un rango prescrito hasta que ocurra la falla. La resistencia a la compresión de un espécimen se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo por la sección transversal de área del espécimen.²⁹

Para la resistencia a flexión se utilizan losetas con la NTC 2871 “Método de ensayo para determinar la resistencia del concreto a flexión utilizando una viga simple con carga en los tercios medios” e indica que este método de ensayo se usa para determinar la resistencia a la flexión de especímenes preparados y curados de acuerdo con las normas ASTM C 42, ó ASTM C 31 ó ASTM C 192. Los resultados se calculan y reportan como el módulo de rotura. La resistencia que se determina variará si existen diferencias en el tamaño del espécimen, su preparación, condiciones de humedad, curado, o si la viga ha sido fundida o cortada al tamaño requerido.³⁰

²⁹ NTC 673 (Tercera actualización), Concretos. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto. Disponible en: <https://docplayer.es/7101785-Norma-tecnica-colombiana-673.html>

³⁰ NTC 2871 (Segunda actualización). Método de ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexión (utilizando una viga simple con carga en los tercios medios). Disponible en: emcali.com.co > NTC+2871+de+2004.pdf

Ilustración 14. Diagrama de ensayos de comportamientos mecánicos del concreto.

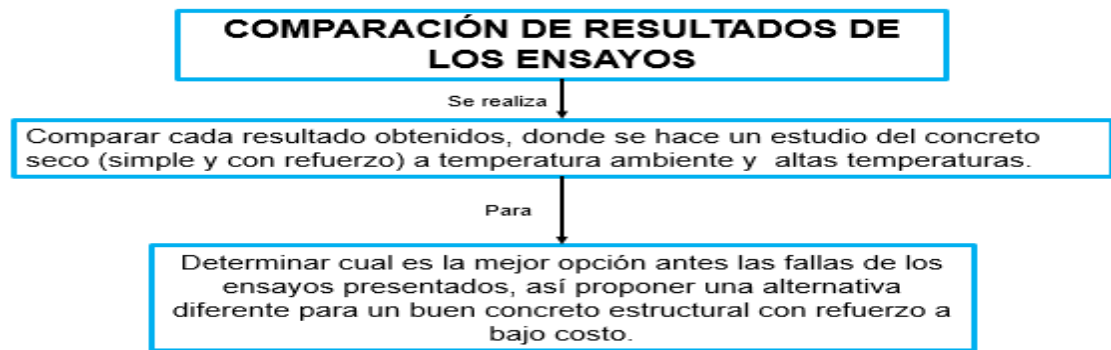


Fuente: Elaboración propia.

FASE 3. Comparación de los resultados de ambos concretos con y sin refuerzo en los diferentes ensayos realizados.

En esta fase se hizo una comparación de los resultados de los diferentes ensayos realizados a las muestras de concreto con las fibras previamente mostradas, analizando cuál de estos se comportó de una mejor manera en la estabilidad de los esfuerzos del concreto expuesto a las diferentes temperaturas para así determinar que fibra puede ser la mejor opción de reforzamiento en un espacio costo beneficio. Como se observa en la ilustración 15.

Ilustración 15. Diagrama de flujo de comparación de los resultados de los ensayos.



Fuente: Elaboración propia.

10. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.

10.1. PROCESO DE REALIZACIÓN DE LAS MUESTRAS.

DISEÑO DE MEZCLA.

El diseño de mezcla aproximado de un bulto de 40 kg se obtiene de la ficha técnica y ficha de seguridad del productor de concreto seco como se observa en la tabla 7, en la tabla se tiene que para este material se usan 22 kg de cemento, material fino 6,5 kg, material grueso 11,5 y una cantidad de agua de 4,5 lts. La relación agua cemento (A/C) de cada bulto de concreto es de 55%, está esta entre los parámetros para tener una hidratación completa. La relación de los otros materiales es de 16% para la arena y 28% para la grava, formando así un 100% del material. El rendimiento del producto de un bulto de 40 kg equivale a 18.75 lts o 0.0187m³ de mezcla húmeda.

Tabla 7. Diseño de mezcla de concreto seco de 4000 PSI.

MATERIAL	CANTIDAD
Cemento	22 kg
Arena	6,5 kg
Grava	11,5kg
Agua	4,5 lts

Fuente: Ficha de seguridad concreto seco.

Para las fibras se tiene la tabla 8, donde se indica la cantidad aproximada de fibras para un bulto de concreto seco de 40 kg, esta dosificación es dada por el

comerciante de cada material, también se tiene las características morfológicas de cada una³¹.

Tabla 8. Cantidades de fibras para un bulto de concreto seco de 40 kg y características morfológicas.

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y CANTIDAD X BULTO		
CARACTERÍSTICA	FIBRA PET	FIBRA ACERO
Cantidad por bulto	50gr ($\pm 0,50$)	100gr ($\pm 0,50$)
Diámetro	0,50 mm	0,55 mm
Longitud	45 – 50 mm	35 mm
Resistencia a la tracción	690 Mpa	850 Mpa
Módulo de elasticidad	9,5 Mpa	20 Mpa

Fuente: Datos estipulados por el comerciante.

La cantidad de fibras PET para 1 m³ de concreto seco de 4000 PSI es de 2 kg/m³ a 8 kg/m³, esto varía según el tipo de obra que se realiza, ya que puede ser pisos, elementos prefabricados, vías secundarias, entre otros, y la cantidad de fibras de acero para 1 m³ de concreto seco de 4000 PSI es de 15 kg/m³, este valor es estándar sea cual sea el tipo de obra que se va a ejecutar.

En la tabla 9 se tienen especificaciones del concreto en estado fresco, esta información se encuentra en la ficha técnica del material, que la proporciona el productor del material.³²

Tabla 9. Información técnica del concreto seco.

ESPECIFICACIONES EN ESTADO FRESCO	
Densidad (Ton/m ³)	2.2 ($\pm 0,1$)
Asentamiento (cm)	15,28 ($\pm 2,54$)
Tiempo de manejabilidad (min)	40
Tamaño máximo nominal (mm)	12,5
Humedad relativa	1,8 – 2,0 g/ml
ESPECIFICACIONES EN ESTADO ENDURECIDO	
Resistencia a la compresión 28 días (kg/cm ²)	280

³¹ Ficha técnicas de cada fibra

PET: De metainplast, disponible en: <https://www.metainplast.com/productos/mallapet3d/>

Acero: De dramix, disponible en: https://www.bekaert.com/en/product-catalog/content/dop/-//media/Files/ImportFiles/DRAMIX-3D/Dramix-3D-6535BG-6535BG.pdf?sc_lang=es-ES

³² Cemex Colombia. FICHA TECNICA Disponible en: <https://www.cemexcolombia.com/documents/45752949/49725776/Concreto-Seco.pdf/0b0d6f0c-89d3-408c-36c7-8c8f9d753bc2>

CANTIDAD DE AGUA	
Para un saco de 40kg	4,5(+/- 0,5 lts)

Fuente: Ficha de datos seguridad concreto seco.³³

A continuación se tiene un cuadro de matriz de la cantidad de muestras que se prepararon para cada tipo de resistencia (Tabla 10).

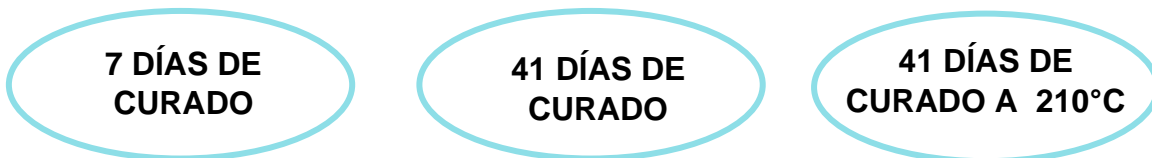
Tabla 10. Número de muestras realizadas para ensayos.

CONCRETO RESISTENCIA	CONCRETO SIMPLE	CONCRETO CON FIBRAS ACERO	CONCRETO CON FIBRAS PET
ENSAYO COMPRESIÓN (NTC 673)	6	5	5
ENSAYO FLEXIÓN (NTC 2871)	3	3	3

Fuente: Elaboración propia.

Se tiene los tiempos que se implementaron para el curado en cada uno de los ensayos, según lo que se explicó arriba que por problemas mayores los cilindros tuvieron un tiempo de 41 días de curado.

Para el ensayo a compresión se tiene los siguientes días de curado para fallar.



Para el ensayo a flexión se tiene los siguientes días de curado para fallar.



CILINDROS.

Se utilizaron 16 cilindros de medidas 11 cm x 21 cm, según norma técnica colombiana NTC 550 que indica los procedimientos para la elaboración y curado de

³³ Cemex Colombia. FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD Disponible en: <https://www.cemexcolombia.com/documents/45752949/45757472/fds-concreto-seco-cemex-colombia.pdf/37a89325-962c-fe14-30c6-df9c05e757c2>.

especímenes cilíndricos y prismáticos, tomados de muestras representativas de concreto fresco para la construcción. Estos cilindros deben contar con una altura igual a dos veces el diámetro. Con esto se inicia el proceso de elaboración de los cilindros.

- a) Se alistan todos los materiales a utilizar, luego se engrasan los moldes para que al momento del desencofrado no se cause afectación como se ve en la fotografía 1.

Fotografía 1. Preparación de cilindros (engrasado).



Fuente: Elaboración propia.

- b) Se coloca el concreto seco de 4000 PSI en la bandeja para mezclarlo, como se observa en la fotografía 2, en este caso para los cilindros se mezclaron dos sacos de 40 kg de concreto seco.

Fotografía 2. Concreto seco para realizar cilindros.



Fuente: Elaboración propia.

Se le adiciona el agua para formar la mezcla según las indicaciones del fabricante. Por cada saco de 40 kilogramos se le debe suministrar 4.5 litros de agua, se puede observar el procedimiento en las fotografías 3 y 4.

Fotografía 3. Adición agua a la mezcla.



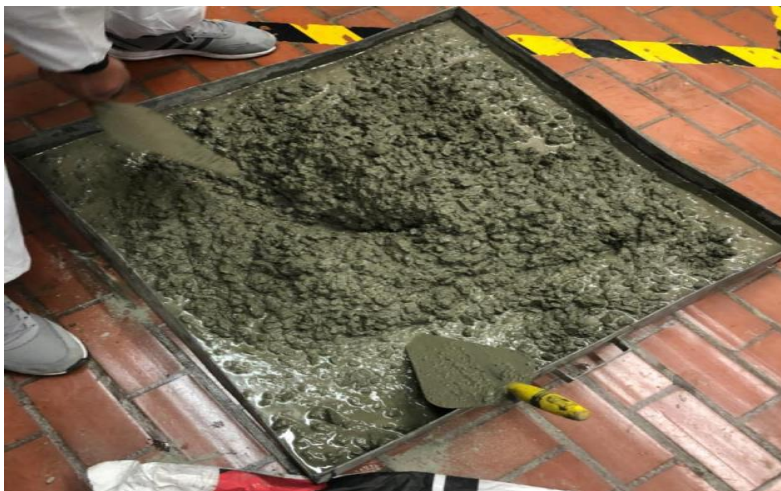
Fotografía 4. Mezcla de agua con material.



Fuente: Elaboración propia.

- c) Se mezcla bien el concreto con el agua, para tener una mezcla homogénea y consistente, como se observa en la fotografía 5.

Fotografía 5. Concreto seco de 4000 PSI mezclado con agua.



Fuente: Elaboración propia.

- d) El llenado de los moldes para cilindros de concreto, se realiza siguiendo la norma NTC 550 donde se referencia el método de compactación y el número de capas de concreto que se adiciona a cada uno de ellos, como se ve en la fotografía 6.

Fotografía 6. Preparación de cilindros de concreto sin ninguna adición.



Fuente: Elaboración propia.

- e) Se realiza la adición de fibras PET, aproximadamente se suministró 0.2 kg de fibras a la mezcla de concreto, que equivalen a dos presentaciones como la que se ve en la báscula en la fotografía 7.

Fotografía 7. Peso de las fibras PET para adicionar a cilindros.



Fuente: Elaboración propia.

Se mezclan las fibras de PET con el concreto seco, en una bandeja limpia y con esto se Elaboran 5 cilindros con fibras PET como se ve en las fotografías 8 y 9.

Fotografía 8. Mezcla de concreto seco con fibras PET para cilindros.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 9. Preparación de cilindros con adición fibras PET.



Fuente: Elaboración propia.

- f) Se procede a realizar los mismos puntos anteriores con las de acero, la dosificación de estas es de 0.25 kg, como se ve en la fotografía 10.

Fotografía 10. Peso de las fibras de acero para adicionar a cilindros.



Fuente: Elaboración propia.

Con la mezcla del concreto sin adición, después se mezcla con las fibras de acero, como se ve en la fotografía 11.

Fotografía 11. Mezcla de concreto con adición de fibras de acero.



Fuente: Elaboración propia.

Se llenan las 5 muestras de cilindros con adición de fibras de acero, como se ve en la fotografía 12.

Fotografía 12. Preparación de cilindros con adición fibras de acero.



Fuente: Elaboración propia.

- g) Por último, se identifican las muestras listas para que se fragüen, como se ve en la fotografía 13, para el día después desencofrar y posterior curado de las muestras.

Fotografía 13. Cilindros de concreto seco de 4000 PSI en proceso de fraguado.



Fuente: Elaboración propia.

- h) Se desencofran los cilindros y se dejan en proceso curado en la pileta, esto a temperatura ambiente, con oscuridad, como se observa en las fotografías 14 y 15.

Fotografía 14. Cilindros endurecidos.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 15. Muestras en pileta.



LOSETAS

Se utilizaron 9 losetas de medidas 5cmx15cmx55cm, según la norma NTC 2871, donde se indica lo estipulado en la fase 2 de la metodología. Para empezar con la elaboración de las losetas se tiene lo siguiente.

- a) Se realizaron moldes en madera para losetas, las cuales se les aplicó aceite para evitar la adherencia de concreto al molde, se realizó la mezcla de un saco de concreto seco de 4000 PSI, con 4.5 litros de agua como se ve en la fotografía 16.

Fotografía 16. Mezcla de concreto seco con agua.



Fuente: Elaboración propia.

- b) Se realizó el llenado de los moldes de las losetas de muestra sin ningún tipo de fibra, como se observa en la figura 21, en este caso se realizaron 3 muestras.

Fotografía 17. Losetas de concreto seco de 4000 PSI sin adición.



Fuente: Elaboración propia.

- c) Se realiza la mezcla de fibras PET, para llenar 3 moldes, se le agrega aproximadamente 60gr de éstas, según la dosificación vista anteriormente (tabla 8), como se ve en la fotografía 18.

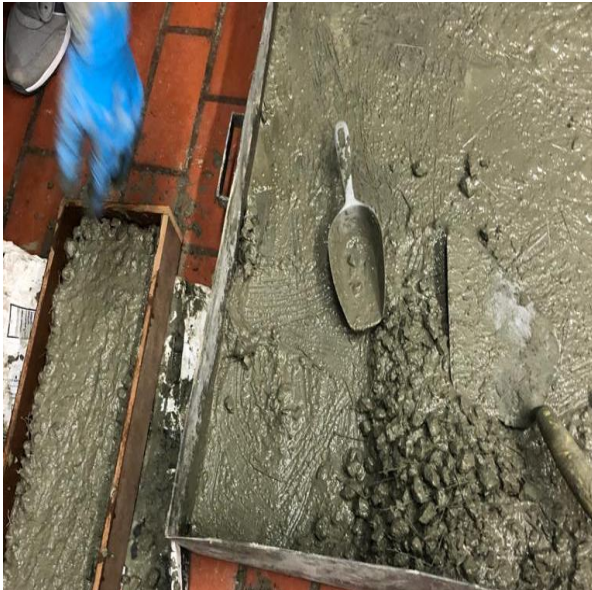
Fotografía 18. Preparación de losetas con adición de fibras PET.



Fuente: Elaboración propia.

- d) Por último, se realizan las 3 losetas restantes con fibras de acero, se le agregan aproximadamente 110gr de éstas según la dosificación de la tabla 9, como se ve en la fotografía 19.

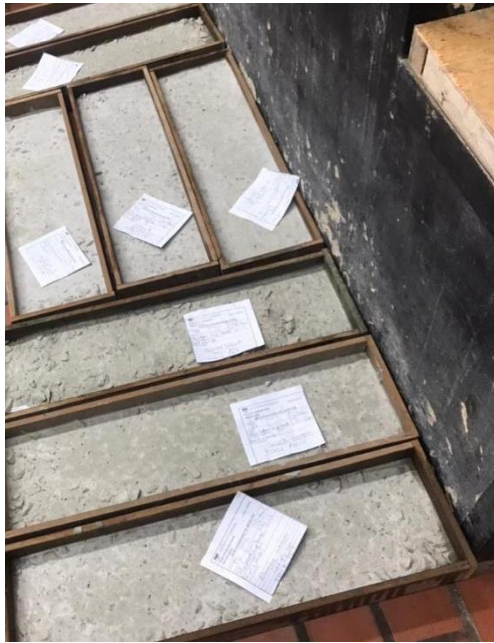
Fotografía 19. Preparación de losetas con adición de fibras de acero.



Fuente: Elaboración propia.

Luego de esto se dejan para el proceso de fraguado y al siguiente día se desencofran e introducen en la pileta para que inicie su proceso de curado, como se ve en la fotografía 20. 21 y 22.

Fotografía 20. Muestras para desencofrar.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 21. Muestras de losetas



desencofradas.

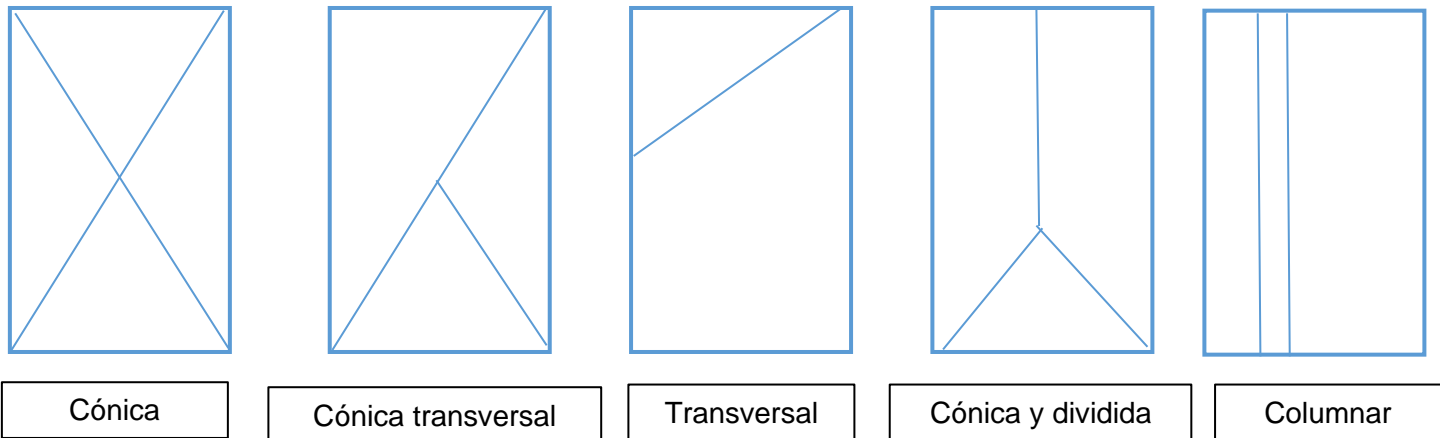
Fotografía 22. Muestras de losetas en pileta para curar.



Fuente: Elaboración propia.

10.2. PROCESO DE DETERMINACION DE RESISTENCIA.

De acuerdo con la norma NTC 673, los tipos de falla que se pueden presentar en las probetas luego de ser falladas, se muestran a continuación:



Las fallas ideales de un cilindro son cuando se genera un plano de falla totalmente vertical (columnar), se da cuando el concreto tuvo un buen proceso de fabricación y compactación en el molde. La falla cónica se presenta cuando hay inercias diferentes a la establecida en los ensayos, los demás tipos de fallas se deben a mala colocación de mordazas o por que las muestras no tienen secciones homogéneas.

10.2.1 MUESTRAS DE CILINDROS – RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

- **7 DÍAS DE CURADO SIN ELEVAR A TEMPERATURAS.**

- a) Se escogen tres muestras, de cada tipo de concreto elaborado, una sin ningún tipo de adición, una con fibra PET y otra con fibra de acero, esto para fallarlas a los 7 días de curado, como se ve en la fotografía 23.

Fotografía 23. Cilindros de cada especificación de 7 días, para fallar.



Fuente: Elaboración propia.

b) Se toman las dimensiones de cada cilindro, como se observa en la tabla 11.

Tabla 11. Datos de las dimensiones de los cilindros.

DIMENSIÓN	TIPO	NORMAL	FIBRA PET	FIBRA ACERO
DIÁMETRO (cm)		10,05 10,27 10,24	8,51 9,53 9,71	9,49 10,18 9,93
		10,186	9,250	9,866
ALTURA (cm)		20,45 20,55 20,34	20,41 20,38 19,78	20,09 20,52 20,3
		20,446	20,190	20,310
PESO MUESTRA (g)		4185,8	3699,2	4060,7
TIPO FALLA		Transversal	Columnar	Transversal
CARGA MÁXIMA (kg.f)		17128,27	8191,33	16117,12

Fuente: Elaboración propia.

c) Luego de esto, se procede a fallar cada uno de los cilindros.

- Muestra de concreto seco de 4000 PSI con fibras de acero, se falla como se ve en la fotografía 24, el resultado da en kN en forma digital como se ve en la fotografía 25.

Fotografía 24. Cilindro en máquina universal.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 25. Resultado de falla.



Luego, se analiza la forma de la falla en el cilindro, como se ve en las fotografías 26 y 27.

Fotografía 26. Cilindro fallado en máquina.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 27. Cilindro con falla.



Una vez se ejerce la carga por parte de la prensa hidráulica, se observa que en el cilindro se presenta una forma de falla tipo diagonal, en casi toda la longitud del cilindro, en la cual se puede ver el interior del mismo, como se puede ver en la fotografía 28.

Fotografía 28. Cilindro fallado con fibras de acero para análisis interno.



Fuente: Elaboración propia.

Se observa que el concreto con fibras de acero, quedo bien compactado, con presencia mínima de poros, también se evidencia que las fibras de acero hacen que no se fracture del todo el cilindro, es decir, la fractura no se presenta en toda la longitud de la probeta fallada, debido a que se forman hilos que se juntan para no desprenderse.

- Muestra de concreto seco de 4000 PSI con fibra PET, se falla como se ve en la fotografía 29, el resultado da en kN en forma digital como se ve en la fotografía 30.

Fotografía 29. Cilindro en máquina universal. Fotografía 30. Resultados de la



falla.

Fuente: Elaboración propia.

Después se analiza la forma de la falla del cilindro, como se ve en la fotografía 31 y 32.

Fotografía 31. Falla de cilindro con fibras PET. Fotografía 32. Falla de cilindro.



Fuente: Elaboración propia.

Se puede determinar que este tipo de falla es columnar, ya que como se ve en las fotografías se abre de forma lineal en varios tramos del cilindro, también se analiza de manera interna como se ve en la fotografía 33.

Fotografía 33. Cilindro fallado con fibras PET para análisis interno.



Fuente: Elaboración propia.

Al revisar la apariencia física de la probeta luego de la falla, se observa gran cantidad de poros, pero aun así se forman hilos debido a las fibras que permiten que no se separen del todo los trozos del concreto, este cilindro tiene una muy baja

resistencia, se infiere que es debido a la cantidad de poros en la mezcla y la inadecuada distribución de fibras PET, ya que todas estas se unieron en una sola parte del cilindro y produjeron espacios o vacíos, esto posiblemente a una mala compactación al momento de realizar esta muestra.

- Muestra de concreto seco de 4000 PSI normal, se falla como se ve en la fotografía 34, el resultado da en kN en forma digital como se ve en la fotografía 35.

Fotografía 34. Cilindro en máquina universal. Fotografía 35. Resultado de falla.



Fuente: Elaboración propia.



Seguido de esto, se analiza el tipo de falla al hacer el esfuerzo de compresión en el cilindro, como se ve en las siguientes fotografías 36 y 37.

Fotografía 36. Falla de cilindro sin adición.

Fotografía 37. Falla de cilindro.



Fuente: Elaboración propia.

Analizando el tipo de falla se puede observar que es de forma transversal, debido a la compresión que se ejerce en el cilindro, normalmente este tipo de concreto siempre falla de la misma manera, es decir, tiene un comportamiento constante. Se observa el interior del cilindro, como se ve en la fotografía 38.

Fotografía 38. Cilindro fallado sin adición para análisis interno.



Fuente: Elaboración propia.

Se observa que la estructura interna del cilindro presenta una baja cantidad de poros, debido a que quedó bien compactada, también se puede observar que hay una gran cantidad de fisuras dentro del cilindro, al momento de fallarlo se obtuvieron bastantes grietas.

- **28 DÍAS DE CURADO SIN ELEVAR A TEMPERATURAS.**

Este procedimiento se llevó a cabo a los 41 días de curado, debido a la situación que estaba atravesando la Ciudad, en la cual había cuarentena estricta solicitada por la alcaldesa, donde debido a esto, no fue posible ingresar a las instalaciones de la Universidad, para el desarrollo del trabajo.

- a) Para esta parte del proceso se manejan 3 cilindros, uno sin ninguna adición de concreto (concreto simple), otro con fibras de PET y el ultimo con fibras de acero.
- b) Se toman las dimensiones de cada cilindro, como se observa en la tabla 12, donde es un breve resumen para realizar el ensayo.

Tabla 12. Datos de las dimensiones de los cilindros.

TIPO DIMENSIÓN	NORMAL	FIBRA PET	FIBRA ACERO
DIÁMETRO (cm)	10,80 10,71 9,43	10,16 10,28 10,90	10,10 10,88 10,66
	10,313	10,446	10,546
ALTURA (cm)	20,28 20,33 20,45	20,29 20,40 20,33	20,65 20,50 20,55
	20,353	20,340	20,566
PESO MUESTRA (g)	4018,8	4051,4	4125,8
TIPO FALLA	Cónica y transversal	Transversal	Cónica y dividida
CARGA MÁXIMA (kg. f)	30110,80	21418,00	28182,34

Fuente: Elaboración propia.

- c) Después de tomar los datos, se realizan las pruebas de resistencia a la compresión para cada cilindro, con esto se observa que tipo de falla tiene cada uno de ellos y también el análisis del concreto ya endurecido internamente, como se ve a continuación:

- Muestra de concreto seco de 4000 PSI con fibras de acero, se falla como se ve en la fotografía 39, el resultado da en kN en forma digital como se ve en la fotografía 40 y esto se convierte a kg.f.

Fotografía 39. Cilindro en máquina universal. Fotografía 40. Resultado de falla.



Fuente: Elaboración propia.

Al fallar el cilindro en la máquina, se analiza la falla que muestra, como se ve en la fotografía 41, se observa que es una falla cónica y transversal, esto se puede observar por la rotura que se tiene en el cilindro, no se abrió del todo, esto pasa debido a el contenido de fibras permite que no se separe el concreto al compactarse.

Fotografía 41. Falla de cilindro de concreto con adición de fibras de acero.



Fuente: Elaboración propia.

Al interior del cilindro también se puede observar cómo es la apariencia de este, como se ve en la fotografía 42, tiene una buena compactibilidad, no se ven gran cantidad de poros, también se puede observar cada material sólido que tiene el concreto.

Fotografía 42. Cilindro fallado con fibra de acero para análisis interno.



Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de concreto seco de 4000 PSI con fibra PET, se falla como se ve en la fotografía 43, el resultado da en kN en forma digital como se ve en la fotografía 44 y esto se pasa a kg.f.

Fotografía 43. Cilindro en máquina universal. Fotografía 44. Resultado de la falla.



Fuente: Elaboración propia.



Cuando se falló este cilindro se aprecia que el espécimen se comprimió más de lo normal debido a que su altura se redujo de manera notoria, provocando una falla diferente alrededor de este, es una falla tipo transversal, como se ve en la fotografía 45, donde se ve que se abrió por toda la mitad, pero aun así las fibras no dejaron que se separaran los fragmentos de concreto ya fracturados.

Fotografía 45. Falla de cilindro de concreto con adición de fibras de PET.



Fuente: Elaboración propia.

Al interior del cilindro se puede observar que las fibras hacen que haya una adherencia adicional en el concreto, como se ve en la fotografía 46, con esto es difícil separar las partes fracturadas del material, en este caso también genera una carga ultima baja, que es de 21418 kg.f, en comparación con las otras muestras que dieron más de 28000 kg.f.

Fotografía 46. Cilindro fallado con fibra de PET para análisis interno.



Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de concreto seco de 4000 PSI normal, se falla como se ve en las fotografía 47 y 48 el resultado da en kN en forma digital como se ve en la fotografía 54 y esto se pasa a kg.f.

Fotografía 47. Cilindro en máquina universal. Fotografía 48. Resultado de la falla.



Fuente: Elaboración propia.

Este cilindro fue el que más resistió en comparación con los otros fallados, se cree que esto sucedió porque la mezcla queda más homogénea y compactada que las otras, en la fotografía 49 se puede observar que, al fallar la muestra dio un tipo de falla cónica y transversal.

Fotografía 49. Falla de cilindro de concreto sin adición.



Fuente: Elaboración propia.

Para el análisis interno de este cilindro, se ve una mezcla compacta y homogénea, donde resaltan las gravas. Este cilindro se quebró por completo, ya que no tiene

ninguna fibra que haga que se separe. También se puede observar en la fotografía 50 que ese concreto presenta gran cantidad de fracturas.

Fotografía 50. Cilindro fallado con fibra de PET para análisis interno.



Fuente: Elaboración propia.

- **28 DÍAS DE CURADO ELEVADO A 210 °C DE TEMPERATURA.**

Este procedimiento se llevó a cabo a los 41 días de curado, debido a la situación que estaba atravesando la Ciudad, en la cual había cuarentena estricta solicitada por la alcaldesa, debido a esto, no fue posible entrar a las instalaciones de la Universidad, para el desarrollo del trabajo.

Los especímenes se elevaron a temperaturas máximas de 210 °C, debido a que el horno que puede alcanzar temperaturas superiores no cuenta con la capacidad volumétrica para contener las probetas. Por tanto, se utilizaron los hornos convencionales del laboratorio de materiales.

Se introducen los cilindros en el horno, para incrementar la temperatura de los mismos. Esto se hizo a 210 °C con un tiempo de exposición y sostenimiento de 1 hora. En la fotografía 51 se ven los cilindros en el horno.

Fotografía 51. Cilindros en el horno para elevar a temperatura.



Fuente: Elaboración propia.

- a) Luego, en la fotografía 52, se ven los cilindros después del tiempo de elevación a temperatura de 210 °C. Se aprecia una gran diferencia en el color de las muestras con respecto a la fotografía 51, debido a que se le elimino la humedad residual del proceso de curado.

Fotografía 52. Cilindros en el horno después de elevar a temperatura.



Fuente: Elaboración propia.

- b) Después de esto, se toman las medidas de cada uno de los cilindros, los resultados se presentan en la tabla 13.

TIPO DIMENSIÓN	NORMAL	FIBRA PET	FIBRA ACERO
DIÁMETRO (cm)	10,64 10,67 10,49	10,02 10,22 10,21	10,25 10,12 10,40
	10,60	10,15	10,256
ALTURA (cm)	20,03 20,04 20,00	20,41 20,55 20,67	20,88 21,02 20,06
	20,023	20,543	20,653
PESO MUESTRA (g)	4008,0	4141,6	4117,2
TIPO FALLA	Cónica y transversal	Cónica y transversal	Cónica y transversal
CARGA MÁXIMA (kg.f)	23685,42	21438,42	22122,74

Tabla 13. Datos de las dimensiones de los cilindros.

Fuente: Elaboración propia.

- c) Después de los datos tomados, se empieza a realizar las pruebas de resistencia a la compresión para cada cilindro, con esto se observa que tipo de falla tiene cada uno y también el análisis del concreto ya endurecido internamente, como se ve a continuación.
- Muestra de concreto seco de 4000 PSI con fibras de acero, se falla como se ve en la fotografía 53, el resultado da en kN en forma digital como se ve en la fotografía 54 y esto se pasa a kg.f.

Fotografía 53. Cilindro en máquina universal. Fotografía 54. Resultado de la falla.



Fuente: Elaboración propia.

Al fallar la muestra, ésta expide vapor de agua proveniente de la humedad residual contenida en la muestra luego del proceso de curado. En la fotografía 55, se puede observar que falló en la parte inferior del espécimen, dando una rotura tipo cónica y transversal.

Fotografía 55. Falla de cilindro de concreto con adición de fibras acero.



Fuente: Elaboración propia.

Para el análisis interno de esta probeta, se evidencia que no presenta gran cantidad de poros en el interior, asimismo, se puede observar el buen color de la mezcla y como los materiales se encuentran homogenizados. Las fibras de acero, como antes se menciona hacen que no se separen los componentes de la probeta que fallaron en la prueba, como se observa en la fotografía 56.

Fotografía 56. Cilindro fallado con fibra de acero para análisis interno.



Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de concreto seco de 4000 PSI con fibra PET, se falla como se ve en la fotografía 57, el resultado da en kN en forma digital como se ve en la fotografía 58 y esto se pasa a kg.f.

Fotografía 57. Cilindro en máquina universal. Fotografía 58. Resultados de la



falla.



Fuente: Elaboración propia.

En este cilindro sucedió lo mismo que la muestra de fibras de acero, pero con una resistencia menor, se cree que es porque las fibras hacen que al ejercer una carga no deje que se fracture del todo, es decir, los hilos generan que no se dividan del todo. El tipo de falla de esta muestra es cónica y transversal, se ven como las grietas van subiendo a lo largo del espécimen. En la fotografía 59 se puede observar la falla de la cual se habla.

Fotografía 59. Falla de cilindro de concreto con adición de fibras PET.



Fuente: Elaboración propia.

Después de esto se observa la parte interna de la muestra, aquí se ve en la fotografía 60 que los materiales se mezclaron bien y no se generaron tantos poros como se veía en las demás muestras con fibras PET.

Fotografía 60. Cilindro fallado con fibra de PET para análisis interno.



Fuente: Elaboración propia.

- Muestra de concreto seco de 4000 PSI normal, se falla como se ve en la fotografía 61, el resultado da en kN en forma digital como se ve en la fotografía 62 y esto se pasa a kg.f.

Fotografía 61. Cilindro en máquina universal. Fotografía 62. Resultado de la falla.



Fuente: Elaboración propia.



Se observa que la falla de este cilindro cerca al punto medio de la longitud, como se ve en la fotografía 63, donde los trozos del centro estallaron y solo quedaron los

bordes del cilindro completos, esta falla es tipo cónica y transversal y fue la muestra que más resistió carga en comparación a los cilindros con fibras de acero y PET. Después se analiza la parte interna del cilindro, donde se puede observar que tiene buena compactibilidad y la mezcla quedó homogénea.

Fotografía 63. Falla de cilindro de concreto sin adición.



Fuente: Elaboración propia.

En la fotografía 64 se puede observar el cilindro al retirarle la parte superior.

Fotografía 64. Cilindro fallado sin adición para análisis interno.



Fuente: Elaboración propia.

10.2.1 MUESTRAS DE LOSETAS – RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.

De acuerdo con la norma NTC 2871, se pueden presentar los siguientes tipos de fallas cuando se somete la probeta a una prueba de flexión pura.



Dentro del tercio medio de la luz



Afuera del tercio medio de la luz

- **28 DÍAS DE CURADO SIN ELEVAR A TEMPERATURA.**

Este procedimiento se llevó a cabo a los 41 días de curado y no 28 como se hace normalmente, debido a la situación que estaba atravesando la Ciudad, en la cual había cuarentena estricta solicitada por la alcaldesa, debido a esto, no fue posible entrar a las instalaciones de la Universidad, para el desarrollo del trabajo.

En la tabla 14, se observan los datos generales de las losetas que se fallaron a flexión. En todas las losetas para la maquina universal se obtuvo una longitud de apoyos de 42 cm y así mismo las dimensiones de las losetas eran las mismas, que son 0.55 x 0.15 x 0.5.

Tabla 14. Datos de dimensiones de las losetas .

TIPO DIMENSIÓN	NORMAL	FIBRA PET	FIBRA ACERO
Ancho de la zona de falla (cm)	2,0 6,5 14,0	15,6 15,0 8,0	4,7 10,3 12,5
Altura de la zona de falla (cm)	1,5 2,3 3,1	2,8 2,5 2,3	2,3 1,8 1,3
	2,30	2,63	1,96
Apariencia del concreto	Normal	Normal	Normal
Fractura dentro del tercio medio	X	X	X
Distancia entre la línea de fractura y el soporte más cercano	20,5 21,2 22,3	17,3 18,1 18,8	19,5 21,2 22,3
	21,33	18,06	21
Carga máxima aplicada (kg.f)	113,37	78,65	113,37

Fuente: Elaboración propia.

- a) Para empezar se hace la verificación de las dimensiones y el trazo de los tercios de la viga y los puntos donde se apoya, como se observa en la fotografía 65.

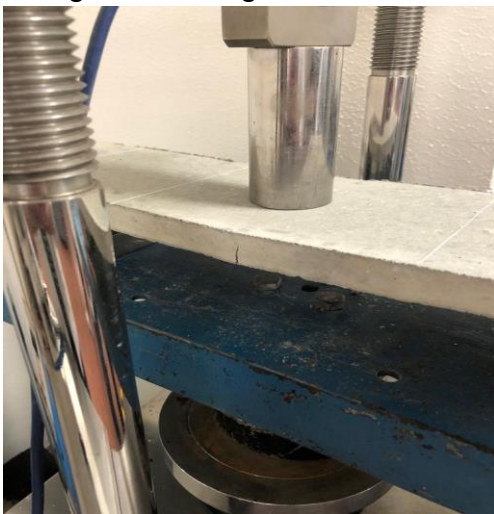
Fotografía 65. Viga de apoyada en la maquina universal.



Fuente: Elaboración propia.

- b) Se ejerce la respectiva carga a las losetas esperando la ruptura como se puede observar en la fotografía 66, la máquina muestra una carga en KN la cual se debe convertir a PSI.

Fotografía 66. Viga de concreto con fibras PET con falla a flexión.



Fuente: Elaboración propia.

- c) Se desmonta la viga y se realiza el análisis y respectivas mediciones verificando en que tercio medio se produjo la falla, como se aprecia en la fotografía 67.

Fotografía 67. Falla de viga en concreto.



Fuente: Elaboración propia.

Se realizan los procesos anteriores con las losetas con adición de PET y acero como se aprecia en la fotografía 68 y 69, aquí se observa cómo está el concreto por dentro, donde se ve homogéneo.

Fotografía 68. Viga de concreto con fibras PET, para análisis interno.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 69. Viga de concreto con fibras de acero fallada.



Fuente: Elaboración propia.

● **28 DÍAS DE CURADO ELEVADO A 210 °C DE TEMPERATURA.**

Las losetas se elevaron a temperaturas máximas de 210 °C, debido a que el horno que puede alcanzar temperaturas superiores no cuenta con la capacidad volumétrica para contener las probetas. Por tanto, se utilizaron los hornos convencionales del laboratorio de materiales.

- a) Se introducen las muestras en el horno, para incrementar la temperatura de estas. Este procedimiento se realizó a 210 °C como se aprecia en la fotografía 15 con un tiempo de exposición de 1 hora. En la tabla 15 se tiene las dimensiones y datos necesarios para analizar la falla de cada espécimen.

Tabla 15. Datos de dimensiones de las losetas.

TIPO DIMENSIÓN	NORMAL	FIBRA PET	FIBRA ACERO
Ancho de la zona de falla (cm)	4,5 10,0 14,5	3,5 7,0 13,5	3,0 9,0 13,0
Altura de la zona de falla (cm)	1,3 1,8 1,7	1,3 2,2 2,5	1,5 1,8 2,3
	1,6	2,0	1,86
Apariencia del concreto	Normal	Normal	Normal
Fractura dentro del tercio medio	X	X	X
Distancia entre la línea de fractura y el soporte más cercano	18,5 18,3 17,6	16,5 19,0 19,5	18,3 19,0 19,8
	18,13	18,33	19,03
Carga máxima aplicada (kg.f)	63,32	40,85	45,96

Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 70. Viga de concreto con fibras de acero con falla a flexión.



Fuente: Elaboración propia

- b) Las losetas se sacan del horno después del tiempo de exposición y se procede al fallo como se aprecia en la fotografía 71, este procedimiento se realiza para las losetas con adición y sin adición de fibras.

Fotografía 71. Viga de concreto con fibra de acero.



Fuente: Elaboración propia.

11. RESULTADOS.

11.1 ENSAYO DE COMPRESIÓN.

Este ensayo consiste en establecer la resistencia del concreto a las deformaciones cuando ejerce sobre este un esfuerzo de compresión. La máquina utilizada para ejecutar el fallo de los cilindros a compresión fue la prensa universal, una vez introducido el cilindro dentro de la prensa esta comienza a aplicar carga a compresión hasta que el cilindro fallaba.

Se utiliza la siguiente ecuación para determinar la carga última soportada por cada cilindro.

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{p}{\pi * r^2}$$

Donde:

P = Carga ultima soportada por el cilindro (kg.f).

r = Radio del cilindro (cm).

σ = Esfuerzo ultimo de compresión (kg/cm²).

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en el ensayo de compresión de cilindros basados en la norma NTC 673 la cual nos da los parámetros para obtener los esfuerzos máximos soportados y tipo de falla para cada muestra:

Tabla 16. Resultados obtenidos falla 7 días de curado.

ENSAYO DE COMPRESIÓN EN CILINDROS (7 DÍAS).									
	Carga máxima		Radio		Área		Esfuerzo máximo		Descripción de la falla
CONCRETO CON FIBRAS ACERO	kg.f	16.117,12	cm	4,93	cm ²	76,430	kg.f/cm ²	210,87	Transversal
	Lb	35.531,80	in	1,94	in ²	11,85	PSI	2998,56	
CONCRETO CON FIBRAS PET	kg.f	8.191,34	cm	4,63	cm ²	67,184	kg.f/cm ²	121,92	Columnar
	Lb	18.058,62	in	1,82	in ²	10,42	PSI	1733,72	
CONCRETO SIN NINGUNA ADICIÓN	kg.f	17.128,27	cm	5,09	cm ²	81,468	kg.f/cm ²	210,24	Transversal
	Lb	37.682,19	in	2,01	in ²	12,63	PSI	2983,36	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17. Resultados obtenidos falla 41 días de curado.

ENSAYO DE COMPRESIÓN EN CILINDROS (41 DÍAS).									
	Carga máxima		Radio		Área		Esfuerzo máximo		Descripción de la falla
CONCRETO CON FIBRAS ACERO	kg.f	30.109,80	cm	5,27	cm ²	87,329	kg.f/cm ²	344,79	Cónica y dividida
	Lb	66.380,07	in	2,08	in ²	13,54	PSI	4902,75	
CONCRETO CON FIBRAS PET	kg.f	21.418,00	cm	5,22	cm ²	85,681	kg.f/cm ²	249,98	Transversal
	Lb	47.218,11	in	2,06	in ²	13,28	PSI	3554,56	
CONCRETO SIN NINGUNA ADICIÓN	kg.f	28.128,35	cm	5,16	cm ²	83,513	kg.f/cm ²	336,82	Cónica y transversal
	Lb	61.882,38	in	2,03	in ²	12,95	PSI	4779,41	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18. Resultados obtenidos falla 41 días de curado, expuesto a 210 °C.

ENSAYO DE COMPRESIÓN EN CILINDROS (41 DÍAS EXPUESTO A 210 °C).									
	Carga máxima		Radio		Área		Esfuerzo máximo		Descripción de la falla
CONCRETO CON FIBRAS ACERO	kg.f	22.122,74	cm	5,13	cm ²	82,592	kg.f/cm ²	267,856	Cónica y transversal
	Lb	48.771,78	in	2,02	in ²	12,80	PSI	3808,818	
CONCRETO DE FIBRAS PET	kg.f	21.438,42	cm	5,08	cm ²	80,894	kg.f/cm ²	265,020	Cónica y transversal
	Lb	47.263,15	in	2,00	in ²	12,54	PSI	3768,496	
CONCRETO SIN NINGUNA ADICIÓN	kg.f	23.685,42	cm	5,30	cm ²	88,225	kg.f/cm ²	268,465	Cónica y transversal
	Lb	52.107,93	in	2,09	in ²	13,68	PSI	3809,515	

Fuente: Elaboración propia.

MEDIA MUESTRAL ENSAYO DE COMPRESION

Para la obtención de la media muestral de los ensayos de compresión se utilizó la siguiente ecuación:

$$\bar{x} = \frac{X1 + X2 + \dots Xn}{n}$$

$$\bar{x} = 3593.24 \text{ PSI}$$

DESVIACION ESTANDAR ENSAYO A COMPRESION

Para la obtención de la desviación estándar de los ensayos de compresión se utilizó la siguiente ecuación:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(X1 - \bar{X})^2 + (X2 - \bar{X})^2 + (Xn - \bar{X})^2}{n}}$$

$$\sigma = 908.64$$

COEFICIENTE DE VARIACION ENSAYO DE COMPRESION

Para la obtención del coeficiente de variación de los ensayos de compresión se utilizó la siguiente ecuación:

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{X}}$$

$$CV = 25.25\%$$

11.2 ENSAYO DE FLEXIÓN.

Para determinar la resistencia del concreto a flexión se emplearon losetas, con dimensiones de 0.55 x 0.15 x 0.5 según lo estipula la norma NTC 2871 Método de ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexión (utilizando una viga simple con carga en los tercios medios, el concreto a flexión presenta una menor resistencia a la flexión, para ello se dispone la viga dentro de la maquina universal y se somete a carga hasta llegar a la falla.

Se utiliza la siguiente ecuación para determinar la carga última soportada por cada viga ya que la totalidad de esta falló dentro del tercio medio de la distancia entre los apoyos y así lo estipula la norma NTC 2871.

$$\sigma = \frac{P * L}{B * H^2}$$

Donde:

P = Carga ultima soportada por la viga (kg.f).²

L = Largo de la viga (cm).

B= Base de la viga (cm).

H= Alto de la viga (cm).

σ = Esfuerzo ultimo de flexión (kg/cm²).

Igualmente que a los ensayos de los cilindros debido a la situación por la cual estaba pasando el mundo en cuanto a la pandemia, al momento de la realización de los ensayos de laboratorio y a la prohibición al ingreso, las muestras fueron falladas a los 28 días de curado, ya que estas fueron fundidas en fechas posteriores a los cilindros igualmente por la poca capacidad de los hornos que se encuentran en la universidad las muestras que se iban a elevar inicialmente a 300 °C A 500 °C solo pudieron ser elevadas a 210 °C. A continuación, se observan los resultados obtenidos de la falla de losetas a la edad de 28 días, dimensiones, esfuerzo máximo soportado, esto se observa en las siguientes tablas (tablas 19 y 20)

Tabla 19. Resultados obtenidos falla losetas 28 días de curado.

ENSAYO DE FLEXIÓN EN LOSETAS (28 DÍAS).										
	Carga máxima		Largo		Alto		Base		Esfuerzo máximo	
CONCRETO CON FIBRAS ACERO	Kg.f	45,96	cm	55,00	cm	15,00	cm	3,50	kg.f/cm ²	3,21
	Lb	101,33	in	21,65	in	5,91	in	1,38	PSI	45,66
CONCRETO CON FIBRAS PET	Kg.f	40,85	cm	55,00	cm	15,00	cm	3,50	kg.f/cm ²	2,85
	Lb	90,07	in	21,65	in	5,91	in	1,38	PSI	40,58
CONCRETO SIN NINGUNA ADICIÓN	Kg.f	63,32	cm	55,00	cm	15,00	cm	3,50	kg.f/cm ²	4,42
	Lb	139,314	in	21,65	in	5,91	in	1,38	PSI	62,77

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20. Resultados obtenidos falla losetas 28 días de curado, expuesto a 210 °C.

ENSAYO DE FLEXIÓN EN LOSETAS (28 DÍAS EXPUESTO A 210 °C).										
	Carga máxima		Largo		Alto		Base		Esfuerzo máximo	
CONCRETO CON FIBRAS ACERO	Kg.f	113,37	cm	55,00	cm	15,00	cm	3,50	kg.f/cm ²	7,92
	Lb	249,94	in	21,65	in	5,91	in	1,38	PSI	112,62
CONCRETO CON FIBRAS PET	Kg.f	78,65	cm	55,00	cm	15,00	cm	3,50	kg.f/cm ²	5,49
	Lb	173,38	in	21,65	in	5,91	in	1,38	PSI	78,12
CONCRETO SIN NINGUNA ADICIÓN	Kg.f	113,37	cm	55,00	cm	15,00	cm	3,50	kg.f/cm ²	7,92
	Lb	249,417	in	21,65	in	5,91	in	1,38	PSI	112,38

Fuente: Elaboración propia

MEDIA MUESTRAL ENSAYO A FLEXIÓN

Para la obtención de la media muestra de los ensayos a flexión se utilizó la siguiente ecuación:

$$\bar{\chi} = \frac{X1 + X2 + \dots Xn}{n}$$

$$\underline{\chi} = 75.36 \text{ PSI}$$

DESVIACION ESTANDAR ENSAYO A FLEXIÓN

Para la obtención de la desviación estándar de los ensayos a flexión se utilizó la siguiente ecuación:

$$\partial = \sqrt{\frac{(X1 - \bar{\chi})^2 + (X2 - \bar{\chi})^2 + (Xn - \bar{\chi})^2}{n}}$$

$$\partial = 28.92$$

COEFICIENTE DE VARIACION ENSAYO FLEXIÓN

Para la obtención del coeficiente de variación de los ensayos a flexión se utilizó la siguiente ecuación:

$$CV = \frac{\partial}{\underline{\chi}}$$

$$CV = 38.37\%$$

12. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

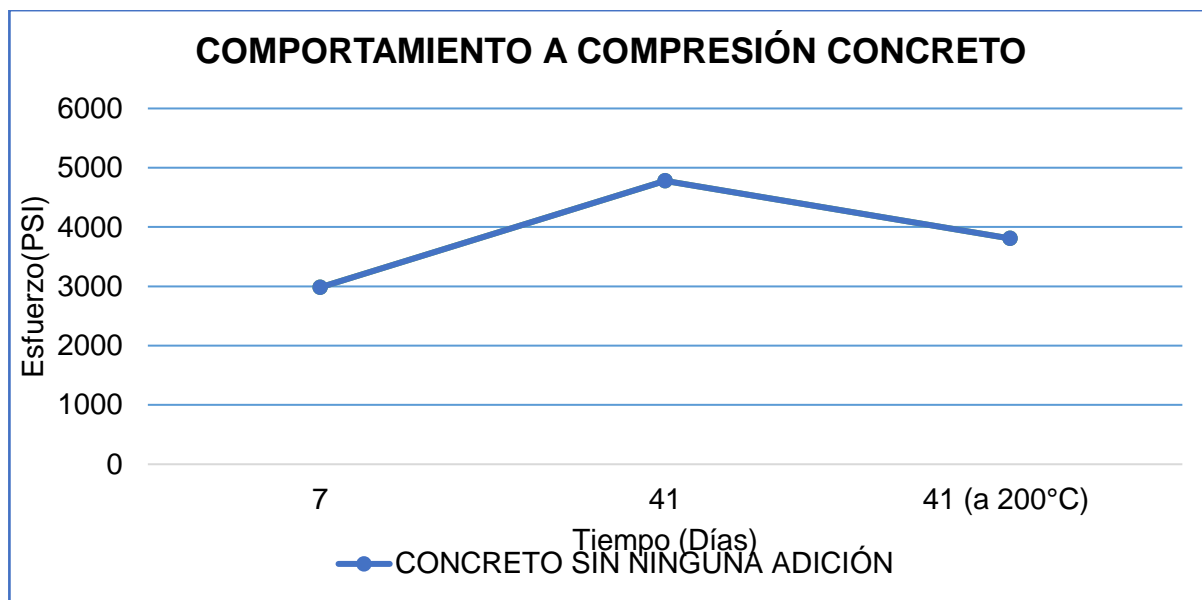
En este capítulo, se realiza el análisis de los resultados obtenidos en los ensayos de compresión y flexión, de acuerdo con las normas, se determina el comportamiento de cada tipo de concreto expuesto a altas temperatura.

12.1 COMPORTAMIENTO A COMPRESIÓN.

- Concreto sin ninguna adición:

El concreto sin ningún tipo de adición se realizó como una forma de testigo o comparación con relación a las otras muestras con fibras, el comportamiento de este concreto fue el esperado ya que a los 7 días de curado ya contaba con más del 50% de la resistencia final que se debería obtener donde fue 2983,36 PSI, a los 41 días de curado el concreto ya alcanzaba la resistencia a compresión deseada con un resultado de 4779,41 PSI. Al someter la muestra a una temperatura de 210 °C por un periodo de 60 minutos y luego ser fallada se aprecia una disminución de la resistencia a compresión la cual representa una baja de sus propiedades mecánicas debido al cambio y exposición prolongada a altas temperaturas. El comportamiento de este concreto se puede ver en la gráfica 1 en la cual se evidencia las variaciones ya mencionadas.

Gráfica 1. Comportamiento a compresión del concreto sin adición.



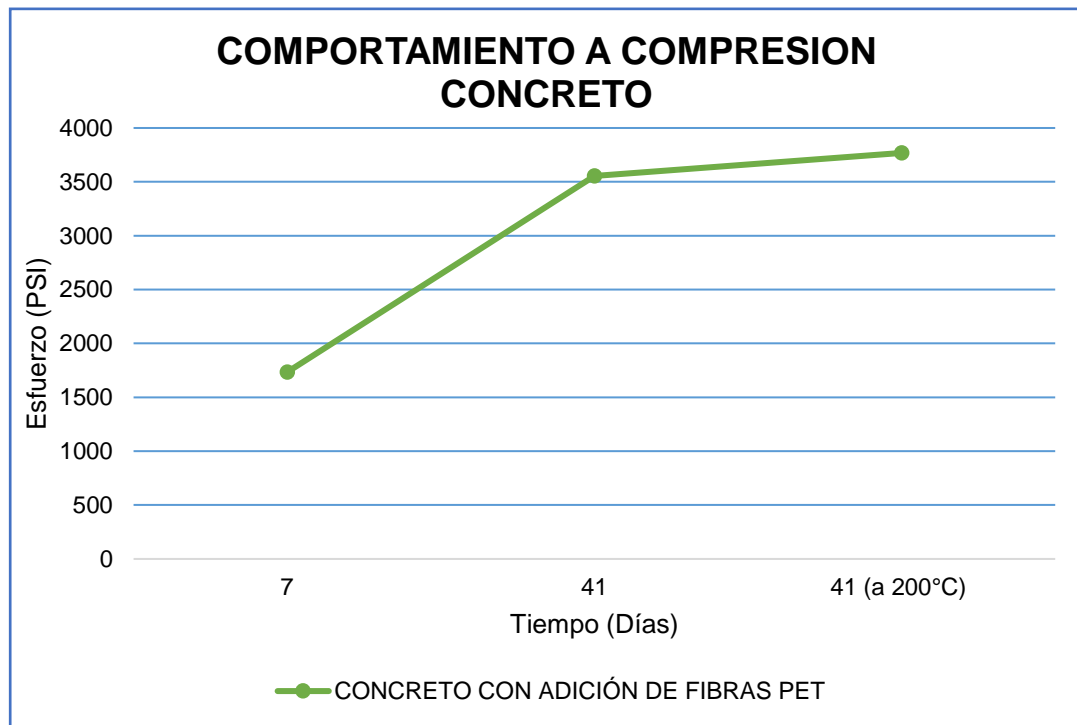
Fuente: Elaboración propia.

- Concreto con adición de fibras PET:

El comportamiento de este concreto con adición de fibras PET, no fue el esperado ya que al momento de realizar el ensayo a los 7 días de curado no contaba ni con el 50% de la resistencia final que debería obtener, esto dio 1733,72 PSI, lo cual se puede explicar ya que al momento de inspeccionar el cilindro ya fracturado se evidencian gran cantidad de vacíos y poros lo cual evidencia una mala compactación, a los 41 días de curado el concreto no alcanzaba aún la resistencia a compresión deseada, con un resultado de 3554,56 PSI.

Al someter esta muestra a una temperatura de 210 °C por un periodo de 60 minutos y luego ser fallada se aprecia un aumento de la resistencia a compresión, el comportamiento de este concreto se puede ver en la gráfica 2 en la cual se evidencia las variaciones ya mencionadas.

Gráfica 2. Comportamiento a compresión del concreto con PET.



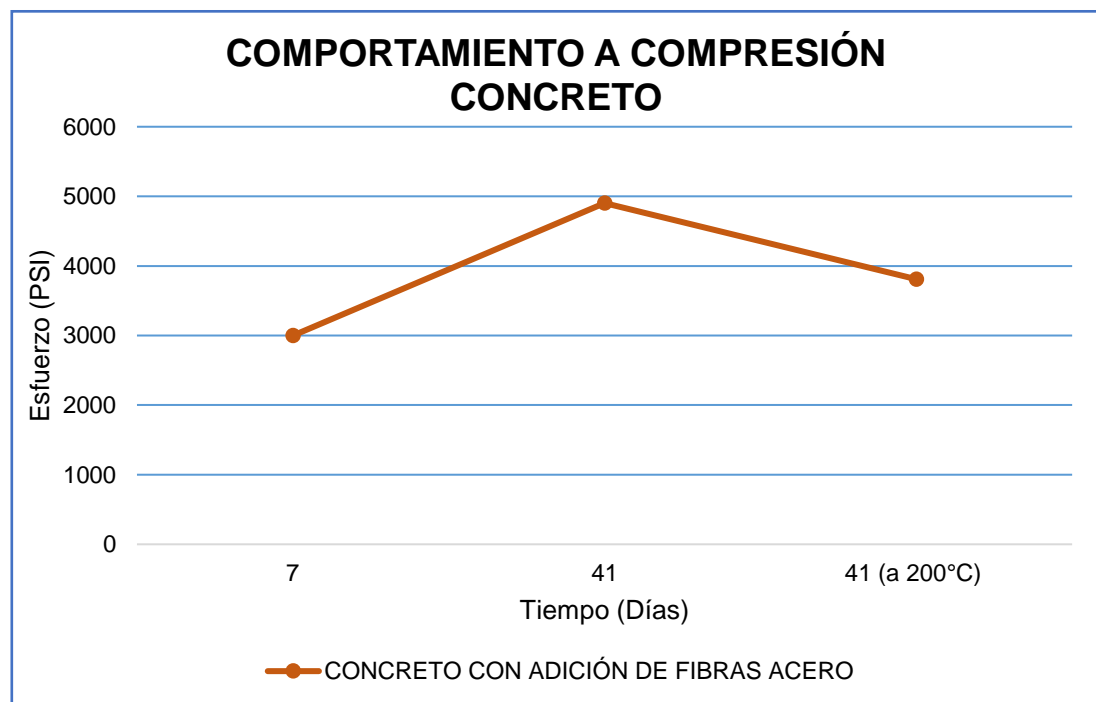
Fuente: Elaboración propia.

- Concreto con adición de fibras de acero:

El comportamiento de este concreto con adición de fibras de acero fue el esperado ya que al momento de la realización del ensayo a los 7 días de curado contaba con el 50% de la resistencia final que debería obtener, esto dio 2998,56 PSI, a los 41 días de curado el concreto ya alcanzaba la resistencia a compresión deseada, como resultado se tiene 4902,75 PSI.

Al someter esta muestra a una temperatura de 210 °C por un periodo de 60 minutos y luego ser fallada se aprecia una disminución de la resistencia a compresión la cual representa una baja de sus propiedades mecánicas debido al cambio y exposición prolongada a altas temperatura similar al comportamiento del concreto sin ningún tipo de fibras. El comportamiento de este concreto se puede ver en la gráfica 3 en la cual se evidencia las variaciones ya mencionadas.

Gráfica 3. Comportamiento a compresión del concreto con adición fibras de acero.



Fuente: Elaboración propia.

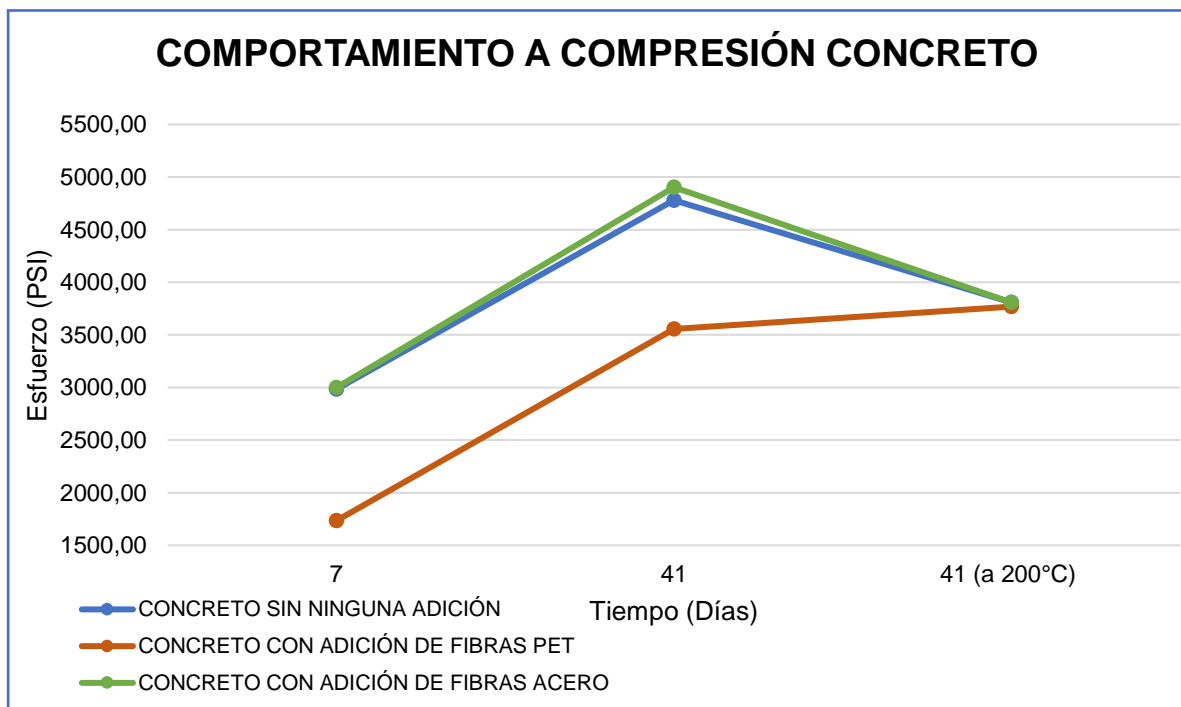
- Comparación entre concretos ensayos a compresión:

Se realiza la comparación entre los diferentes concretos obtenidos a los 41 días de curado, logrando encontrar que la variación de la resistencia a compresión es de un 2% al momento de comparar un concreto seco convencional de 4000 PSI, contra el mismo concreto con adición de fibras de acero. Así mismo se puede comparar la resistencia del concreto seco de 4000 PSI contra el mismo concreto de 4000 PSI con adición de fibras PET encontrando una reducción del 26% esto debido a la mala ejecución de la toma de las muestras, esto sucede porque al momento de mezclar las fibras con el concreto, se enredan, las cuales generaron muchos poros en la muestra y no dejó que se compactara bien la mezcla.

Esta misma comparación se puede realizar después de exponer las muestras de 41 días de curado a la temperatura de 210 °C por un periodo de una hora, reflejando una disminución de la resistencia a la compresión, por el aumento de temperatura equivalente a 20% y 22% en el concreto sin ningún tipo de adición y el concreto con adición de fibras de Acero. Con relación al concreto con adición de fibras PET se encuentra un aumento de 6% de la resistencia a la compresión al momento del aumento de la temperatura.

Estos resultados se pueden evidenciar en la gráfica 4.

Gráfica 4. Comportamiento a compresión de las muestras de concreto.



Fuente: Elaboración propia.

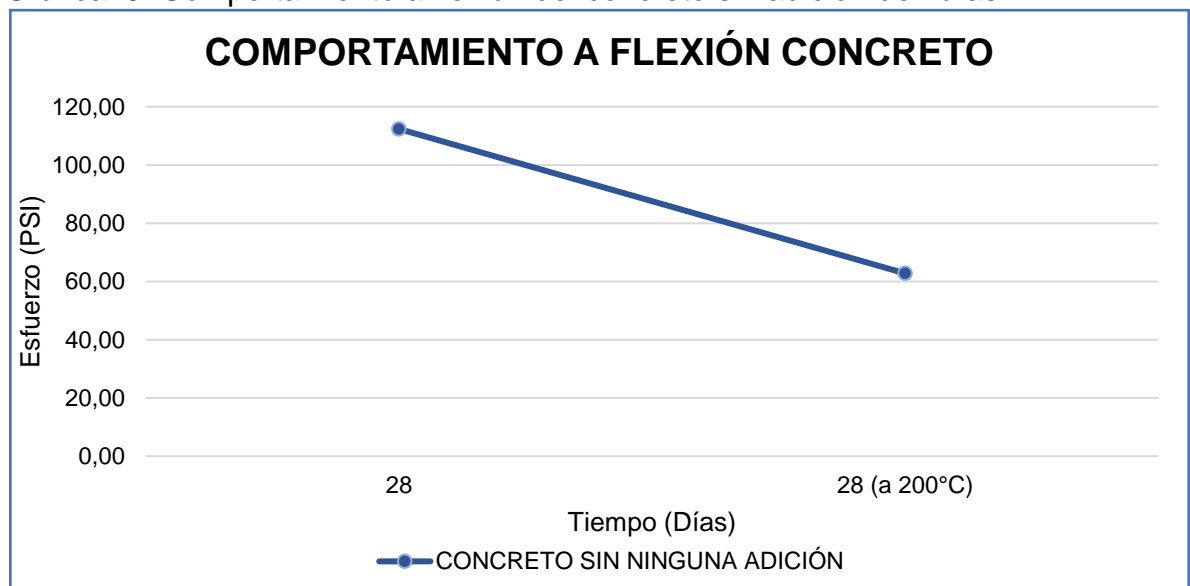
Esta tendencia puede producirse ya que el concreto elevado a temperaturas entre los 100 -150 °C, como resultado del impacto térmico empieza a producir un daño en la adherencia de los materiales que componen el concreto, sin embargo, en la muestra a la que se le agrego las fibras de PET se produce un aumento de la resistencia esto debido a la adherencia que ejerce el material al aumento de la temperatura. En ese sentido las fibras ayudan a que el concreto al momento de la falla no tenga un desprendimiento de compuestos o si lo hay que sea controlado, ya que al momento del ensayo de compresión el cilindro sin adición de fibras se fracturo y colapso y la muestra que fue expuesta a altas temperaturas tuvo una clase de explosión lo cual fragmento el cilindro.

12.2 COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN.

- Concreto sin ninguna adición:

Este ensayo solo se pudo determinar mediante la comparación de la resistencia a flexión de las losetas basados en la norma NTC 2871, con concreto de 28 días de curado en condiciones normales y expuesto a temperatura de 210 °C, por un periodo de una hora, obteniendo que a esta edad el concreto contaba con una resistencia a la flexión de 112,38 PSI, al exponer la muestra al incremento de temperatura se observa una reducción a la resistencia a flexión de un 44%. Observar grafica 5.

Gráfica 5. Comportamiento a flexión del concreto sin adición de fibras.

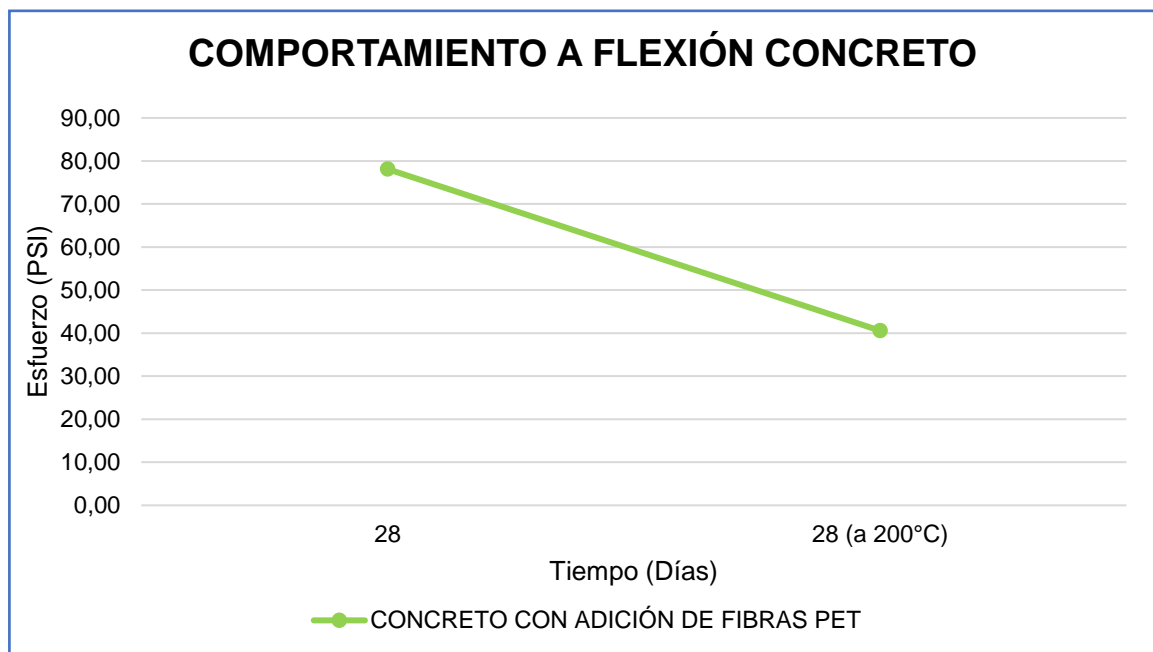


Fuente: Elaboración propia.

- Concreto con adición de fibras PET:

Al igual que el ensayo que se elaboró para las losetas sin ningún tipo de fibras, se obtuvo que esta muestra contaba con una resistencia a la flexión a los 28 días de 78,12 PSI, al exponer la muestra al incremento de temperatura, se observa una reducción a la resistencia a flexión de un 48%. El comportamiento a flexión de este concreto se puede ver en la gráfica 6.

Gráfica 6. Comportamiento a flexión del concreto sin adición de fibras.

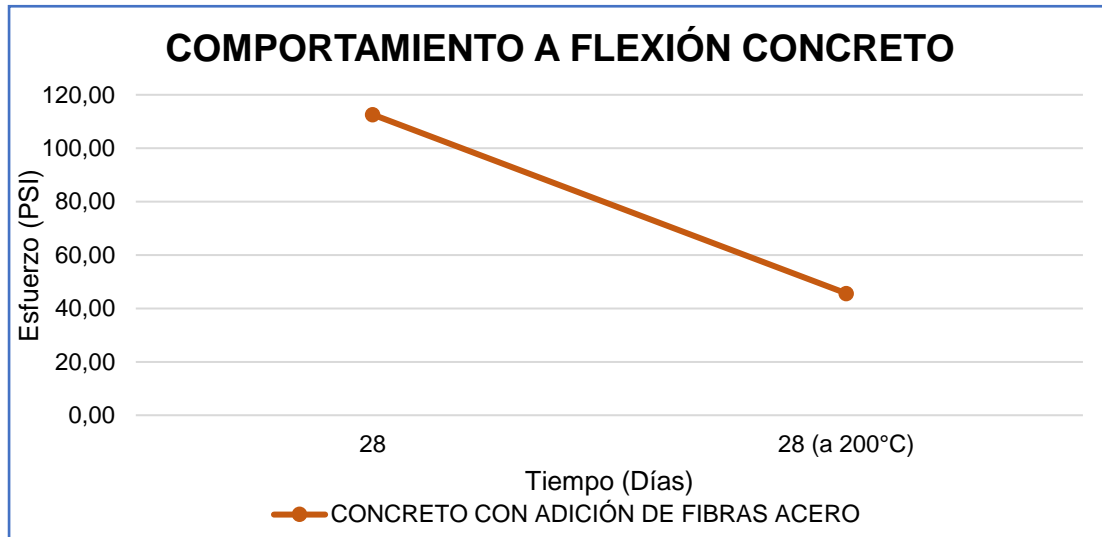


Fuente: Elaboración propia.

- Concreto con adición de fibras acero:

Al igual que los ensayos que se elaboraron para las anteriores losetas, se obtuvo que esta muestra contaba con una resistencia a la flexión a los 28 días de 112,62 PSI, al exponer la muestra al incremento de temperatura se observa una reducción a la resistencia a flexión de un 44%. El comportamiento a flexión de este concreto se puede ver en la gráfica 7

Gráfica 7. Comportamiento a flexión del concreto sin adición de fibras.

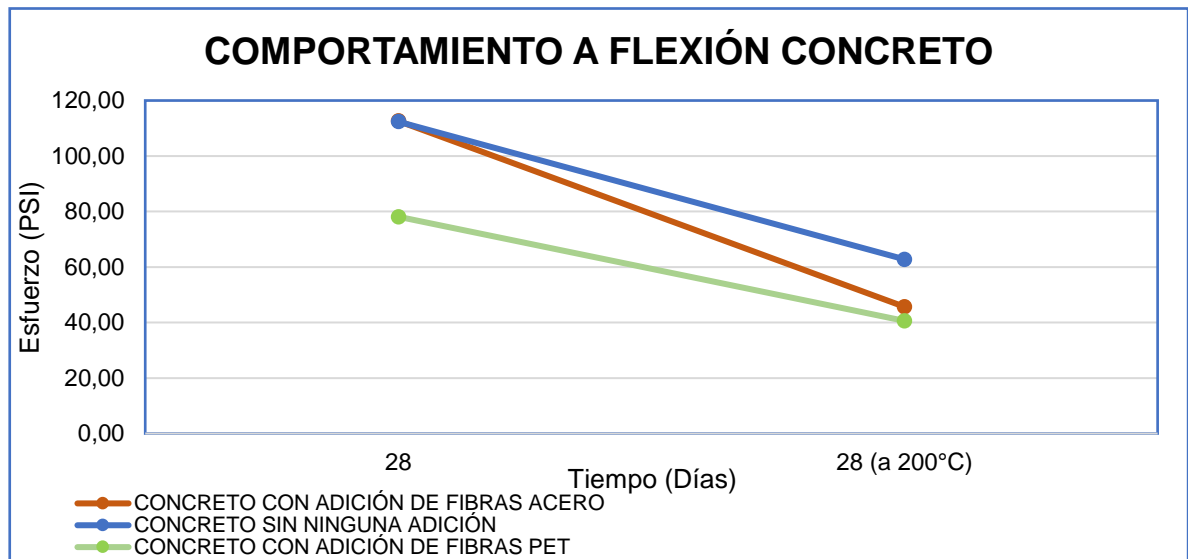


Fuente: Elaboración propia.

- Comparación entre concretos ensayos a flexión:

El comportamiento de los diferentes concretos a las cargas de flexión son muy similares ya que las tres muestras reflejan una disminución de la resistencia a flexión sin embargo la viga que contenía fibras de acero tuvo una pérdida representativa con respecto a las otras dos muestras, como se aprecia en el grafico 8.

Gráfica 8. Comportamiento a flexión de las muestras de concreto.



Fuente: Elaboración propia.

La disminución de las propiedades mecánicas de los diferentes concretos se deben a que a la temperatura de 210 °C la humedad contenida dentro de estos se empieza a evaporar y con ello la deshidratación de la mezcla, esto da lugar a la degradación irreversible de dos propiedades fundamentales del material: la rigidez elástica (el elemento no recupera su forma original) y la resistencia mecánica por descohesión, según Rivva, es la patología que se presenta al verse reducida la adherencia de los componentes del concreto, esta genera un debilitamiento en las características mecánicas del concreto.

La evaporación interna, se percibe en mayor magnitud al momento de la falla en el cilindro de concreto sin ninguna adición, ya que, al empezar a romperse estos vapores salen con tanta presión que hacen que la gran mayoría de del cilindro se desintegre. Igualmente, en los cilindros reforzados con fibras PET y acero, estas muestras al momento de la falla expulsan vapores, y las fibras no permiten la desintegración total del material.

Los concretos analizados, presentan un comportamiento similar tanto el concreto sin adición y el concreto con adición de fibras de acero, al momento de elevar la temperatura de estos y ser fallados, el comportamiento de la muestra de acero fue la que se presentó mejor, ya que al momento de la falla este solamente se fracturo y no se desintegro, como si paso con el concreto sin ningún tipo de adición. Por otro lado, el concreto con adición de fibras PET no cumplió con la resistencia a compresión deseada a los 41 días de curado, se puede inferir que estas fibras afectan las propiedades mecánicas del concreto, solo tiene la condición de no permitir que la muestra no se desintegrara como paso con el concreto sin ningún tipo de adición.

Para la fabricación de 1 m³ concreto, se necesitan aproximadamente 10 bultos del material lo que equivalen a \$199.000, para saber cuál es más viable económicamente entre las fibras, se tiene por un lado que el concreto seco con fibras PET, como se menciona anteriormente se necesitan aproximadamente de 2kg/m³ a 8kg/m³, donde el paquete de 3kg, tiene un costo de \$31.000, siendo así, el concreto con adición de fibras PET tiene un costo aproximado de \$292.000. Por otro lado, el concreto con adición de fibras de acero, para 1 m³ se necesitan 15 kg/m³, donde el paquete de 9kg, tiene un costo de \$79.000, entonces este tendría un costo aproximado de \$357.000. El concreto seco con adición de fibras de acero tiene un mayor costo, sin embargo, tiene mejor viabilidad a las condiciones presentadas en el proyecto, esto debido a que posee un destacado comportamiento en las propiedades mecánicas en temperaturas ambiente y elevado a temperaturas de 210 °C.

13. CONCLUSIONES.

Se logró establecer el comportamiento de cada fibra al ser adicionada al concreto seco, por un lado, se obtuvo que la adición de las fibras PET hicieron que el concreto perdiera resistencia a compresión después de los 28 y 41 días y que, al momento del aumento de la temperatura, esta resistencia subiera en una menor cantidad. Por otro el concreto con fibras de acero, tuvo un comportamiento esperado ya que, a los 28 y 41 días de curado contaba con su resistencia óptima o deseada, sin embargo, este concreto al ser expuesto a altas temperaturas, presento una disminución de la resistencia, debido a esta exposición hace perder la humedad interna del concreto, haciendo que se presenten fracturas internas al momento de la falla, no obstante, este concreto no tuvo desprendimientos de material debido a que las fibras internamente no lo permitieron, como si sucedió con el concreto sin ningún tipo de fibras.

Los concretos secos comerciales cumplen con los parámetros de resistencia, si son usados de acuerdo con las normas y especificaciones técnicas. Pueden suplir la adquisición de materiales y agregados de concreto por separado, el uso de fibras en la construcción está en aumento sin embargo el uso de estas especialmente las de PET, deben ser perfectamente mezcladas en con el concreto, si es posible mecánicamente, con uso de mezcladora, ya que, si no se hace este proceso se pueden generar vacíos en la mezcla.

La adición de fibras al concreto ayuda o afecta favorablemente a las propiedades mecánicas del concreto, sin embargo, el aumento y la exposición prolongada a temperatura, hace que estas propiedades se pierdan. Al momento de una falla por carga y temperatura, las fibras son de gran ayuda, ya que, permiten que el elemento estructural no colapse, como si puede suceder en elementos que, de solo concreto, ya que las fibras crean una conexión entre cada parte del elemento.

El concreto con adición de fibras de acero, es la mejor opcional al momento de elegir una fibra, ya que, estas a pesar de que no ayudan a la resistencia tanto a compresión como a flexión, tuvieron un comportamiento en el que no afecta la resistencia negativamente, y al momento de la exposición a la temperatura y la falla evita un colapso grave del elemento.

14. RECOMENDACIONES.

- Se recomienda seguir los estudios del proyecto, para investigar más a fondo, también sería una buena idea usar otro tipo de fibras y temperaturas mayores para ver el comportamiento del concreto.
- El uso de una mezcladora manual o eléctrica, para tener una buena consistencia al unir el material con las fibras de PET y acero, ya que, se tuvo problemas con esta mezcla, debido a que las fibras se enredaban, lo que generó una mala compactación y así mayor porosidad.
- Tener más opciones de laboratorios, debido a la situación que se está atravesando, se generaron retrasos en las tomas de ensayos, también así contar con mayor disponibilidad de tiempo.
- Verificar la nueva normatividad NSR-21, donde se espera que incluyan el concreto seco como parte de ella, para tener más bases de información sobre el material principal usado.

15. BIBLIOGRAFÍA.

Amaya Santiago, Ramírez Miguel. Evaluación del comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras. Universidad Católica de Colombia. 2019. Pág. 33

Arqhys decoración. Construcción. Concreto reforzado, Párrafo 1. Disponible en: <https://www.arqhys.com/construccion/reforzado-concreto.html>

Asociación Colombiana de productores de concreto ASOCRETO. Tecnología del concreto. Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas. Tomo 1. Medellín, Colombia. Página 1.

Asefa seguros. Efectos de incendios en estructuras de concreto armado. España, Madrid 16/Junio/2011. Párrafo 4. Disponible en: <https://www.asefa.es/comunicacion/patologias/efectos-de-incendios-en-estructuras-de-hormigon-armado#>

Cagiago, J, B. G. (2010). Huella ecológica del cemento. Coruña - España: Laboratorio de ingeniería sostenible.

D. M. Dias, J. L. Calmon, G. L. Vieira. Concreto reforzado con fibras poliméricas expuesto al fuego. En: Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción (ALCONPAT). Universidad Federal de Espírito Santo, Vitória-ES, Brasil. 30/12/2019. Pág. 37-38.

360 en concreto. (2020). Conociendo las propiedades físicas del cemento: ¿Qué y cómo? Cementos Argos, recurso Web. <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/category/cemento/propiedades-fisicas-del-cemento>.

Espinoza, A. (2010). Estudio de dosificación de concreto de ultra alta resistencia, basado en el empaquetamiento de los áridos. Madrid - España: Universidad Politécnica de Madrid.

Fernández Jiménez, A. P. (2009). Properties and uses of alkali cements. Ingeniería de Construcción RIC, 213-232.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2000). ESPECIFICACIONES DE LOS AGREGADOS PARA CONCRETO. Sección Concreto, 5-12.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2020). ELABORACIÓN Y CURADO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO PARA ENSAYOS DE LABORATORIO. NTC 1733-20. Colombia.

Junaid, M., Kayali, O. & Khennane, A (2012). A Mix Design Procedure for Alkali Activated Fly Ash-based Geopolymer Concretes. Conference Program, Beijing, China 2012, 143-150.

Lin, W. & Cía. (2019). A factorial experimental analysis of using wood fly ash as an alkaline activator along with coal fly ash for production of geopolymer-cementitious hybrids. National University of Singapore. Kent Ridge, Singapur.

Mecapedia. Enciclopedia Virtual de Ingeniería Mecánica. Castellón España. Coeficiente de Poisson. 09/03/2018. Disponible en: [http://www.mecapedia.uji.es/coeficiente de Poisson.htm](http://www.mecapedia.uji.es/coeficiente%20de%20Poisson.htm)

Norma Técnica Colombiana 5541. Concretos reforzados con fibras. Términos y definiciones. Pág. 4

OSORIO, Jesús David. "Resistencia mecánica del concreto y resistencia a la compresión". 28 junio de 2013.

Osorio Jesús Davis. 360 grados en concreto. ¿Qué es el módulo de elasticidad en el concreto? Disponible en: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/elasticidad-del-concreto>

Putrón, P. (2015). Impactos ambientales asociados con el proceso de producción del concreto. Revista Enfoque 2015, 67-80.

Rosas. C, & Cía. (Noviembre de 2015). Estudio Físico, Químico y Microestructural De Geopolímeros Base Ceniza Volante. Universidad Autónoma de Sinaloa.

Ryu, G. & Cía. (2013). The mechanical properties of fly ash-based geopolymer concrete with alkaline activators. Korea Institute of Construction Technology. Gyeonggi, Corea del Sur.

Sánchez, D. (2010). Tecnología del concreto – tomo 1 materiales, propiedades y diseños de mezcla. ASOCRETO, Colección del concreto.

Amaya Santiago, Guevara Miguel Ángel. Evaluación del comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras. Universidad Católica de Colombia. 2019

SIKA COLOMBIA S.A.S. Concreto Reforzado con Fibras. 08/2014. Principales aplicaciones.

16.ANEXOS.

Fichas técnicas:

- CONCRETO SECO DE 4000 PSI.

Ficha técnica. Concreto seco Cemex.



Descripción

- ✓ Concreto especialmente diseñado para la fundida de columnas, vigas, placas, pisos y cualquier elemento de concreto estructural y no estructural, con resistencia de diseño de 210 kg/cm² y 280 kg/cm².
- ✓ **NTC 396, NTC 454 y NSR 10.**

Beneficios

- ✓ Listo para usar en lugares de difícil acceso en su obra.
- ✓ La uniformidad en las mezclas garantiza la calidad del producto.
- ✓ Menos desperdicio que la mezcla hecha en obra, debido a que se prepara solo la cantidad necesaria.
- ✓ Adecuado control de inventario.
- ✓ Permite optimizar la mano de obra.

Materias Primas

- ✓ Cemento ART - NTC 121.
- ✓ Agregados - NTC 174.
- ✓ Aditivos - ASTM C494 - M11 por NTC 1299

Instrucciones de almacenamiento y manipulación

- ✓ Conserve en un lugar cubierto, seco y alejado de la humedad. Cúbralo con plástico.
- ✓ Manténgalo sobre estibas de madera o plástico, a 10 cm del suelo, alejado de las paredes.
- ✓ No apile más de 10 sacos.
- ✓ Una vez abierto el saco, utilícelo de inmediato.
- ✓ Manipule con cuidado para evitar la rotura del saco. Si el saco está roto o dañado, no lo compre.

Presentación

- ✓ Saco de 40 kg.

Rendimiento

- ✓ Un saco de 40 Kg equivale a 18.75 l o 0.0187 m³ de mezcla húmeda (+/- 0.5 l).
- ✓ Relación toneladas vs. m³: 1 m³ = 2.1 +/- 0.05 ton.

Información técnica	
Especificaciones en estado fresco	
Densidad (Ton/m ³)	2.2 (±0.1)
Asentamiento (cm)	15.28 (±2.54)
Tiempo de manejabilidad (min)	40
Tamaño máximo nominal (mm)	12.5
Especificaciones en estado endurecido	
Resistencia a la compresión a 28 días (kg/cm ²)	210
Resistencia a la compresión a 28 días (kg/cm ²)	280
Cantidad de agua	
Para un saco de 40 kg	4.5 (+/- 0.5 lt.)

Manual de uso

- ✓ Vierta en una superficie no absorbente del 40-50% del agua requerida por saco, luego agregue el contenido del saco y adicione gradualmente la cantidad de agua restante hasta lograr el asentamiento deseado. Mezcle uniformemente hasta obtener una mezcla homogénea.
- ✓ Limpie adecuadamente la formaleta y/o zona donde va a aplicar la mezcla.
- ✓ Mediante el uso de pala o de otra herramienta apta, coloque la mezcla sobre el elemento a fundir.
- ✓ Realice el proceso de vibración adecuado para garantizar la colocación uniforme de la mezcla, con el fin de evitar que queden espacios que puedan afectar el desempeño del concreto.
- ✓ Realice el curado del elemento fundido, ya sea con agua o con la colocación de una barrera que evite la evaporación del agua, mínimo durante los primeros 7 días de edad del concreto.
- ✓ Utilice el producto, preferiblemente, antes de los 4 meses posteriores a su fabricación.

Precauciones

- ✓ Manténgalo fuera del alcance de los niños.
- ✓ Producto no comestible. En caso de ingesta, llame o acuda al médico.
- ✓ No inhalar el producto.

- ✓ Nota: CEMEX no garantiza la resistencia de la mezcla a la cual se le agregue arena, cemento, aditivos químicos u otro material.

Fuente: Cemex Colombia. FICHA TECNICA

● FIBRAS ACERO.




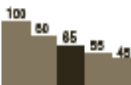
Ficha técnica. Fibras de acero Dramix.

Características

Propiedades del material

Resistencia Nominal a la tracción:	1.345 (N/mm ²)
Módulo de Young:	200.000 (N/mm ²)
Deformación máxima en tracción:	0,8 %

Geometría

Gama de fibras	3D 
Longitud (l)	35 mm 
Diámetro (d)	0,55 mm 
Ratio de esbeltez (l/d)	65 

Mínima dosificación según EN 14889-1

15 kg/m³

Red de fibras

8.032 m³ por 15 kg/m³
14.711 fibras/kg

Gama Dramix®

3D Aplicaciones estándar HRFA
4D Elevado control en servicio
5D Aplicaciones estructurales avanzadas

	5D	4D	3D
Resistencia a tracción			
Ductilidad del alambre			
Resistencia de anclaje			

Certificados del producto *



* Los certificados del producto son específicos de las plantas de producción.

Conformidad del producto

Dramix® cumple con las normas técnicas
ASTM A820, EN 14889-1 e ISO 13270
clase A.

Certificados del sistema



Todas las plantas
Industriales Dramix®
cuentan con el
certificado ISO 9001
e ISO 14001.

Embalaje



Manipulación



DRAMIX® 3D 65/35BG

El anclaje original

Dramix® 3D es una fibra altamente rentable ideal para estructuras hiperestáticas estándar de hormigón sometidos a cargas estáticas habituales, de fatiga y a cargas dinámicas.

Tecnología encolada para refuerzo tridimensional

Las fibras de acero Dramix® están unidas con cola soluble en agua. La cola ayuda a evitar la formación de bolas de fibras durante el amasado y garantiza una distribución homogénea de las fibras en toda la mezcla de hormigón.

Bekaert Soporte técnico Bekaert

Puede contar con nuestro equipo de soporte para cada fase de su proyecto, desde el anteproyecto hasta durante la ejecución. Nuestros servicios incluyen recomendaciones sobre diseño de pavimentos, detalles de constructivos, optimización del hormigón y procedimientos automáticos de control de calidad. También nos complace compartir nuestros conocimientos con usted y su equipo.

No dude en solicitarnos un seminario o formación sobre el refuerzo de fibras de acero en sus oficinas.

Para recomendaciones sobre manejo, dosificación y mezcla visite
www.bekaert.com/dosingdramix.
Cualquier otro documento específico o certificado se puede encontrar en
www.bekaert.com/dramix/downloads.

Bekaert se reserva el derecho a modificar, renombrar o suspender la producción de este producto en cualquier momento con o sin previo aviso. Toda la información aquí contenida es general y puede no estar completa. Para más información póngase en contacto con la oficina local de Bekaert.

Fuente: Fibras de acero de dramix.

Dramix® 3D 65/35BG_15_20190303

- FIBRAS PET.

Ficha técnica. Fibras de PET Metainplast.

FICHA TÉCNICA

Normas Nacionales: NTC 3696, NTC 5541, NTC 5721, NTC 5981

Normas Internacionales: ASTM C1116, ASTM C1399, ASTM C1436, ASTM 1609, ASTM C1550

Nombre	MALLAPET 3D		
Descripción	<p>Son monofilamentos de alta tenacidad que al ser mezclados con el concreto forman una matriz de refuerzo tridimensional, distribuidas uniformemente a través de toda la masa de concreto, insertando de esta forma las micro tensiones que se producen al deshidratarse el concreto, además absorben la energía que son la causa de aparición de grietas y fisuras</p>		
Composición	PET		
Características	Longitud: 45 mm a 50 mm. Color: Gris. Punto de Fusión: 550 °C Resistencia a la Tracción: 690 Mpa.	Diámetro: 0,5 mm. Forma: Recta y Lisa. Punto de Ignición: 260°C Módulo de Elasticidad: 9,5 Mpa.	

Denier: 4500 - Absorción de Agua: 0 - Color: Grises - Módulo de Elasticidad: 11.23 Gpa - Tensión: 730-810 Nos



Fuente: Fibras de PET, metainplast.